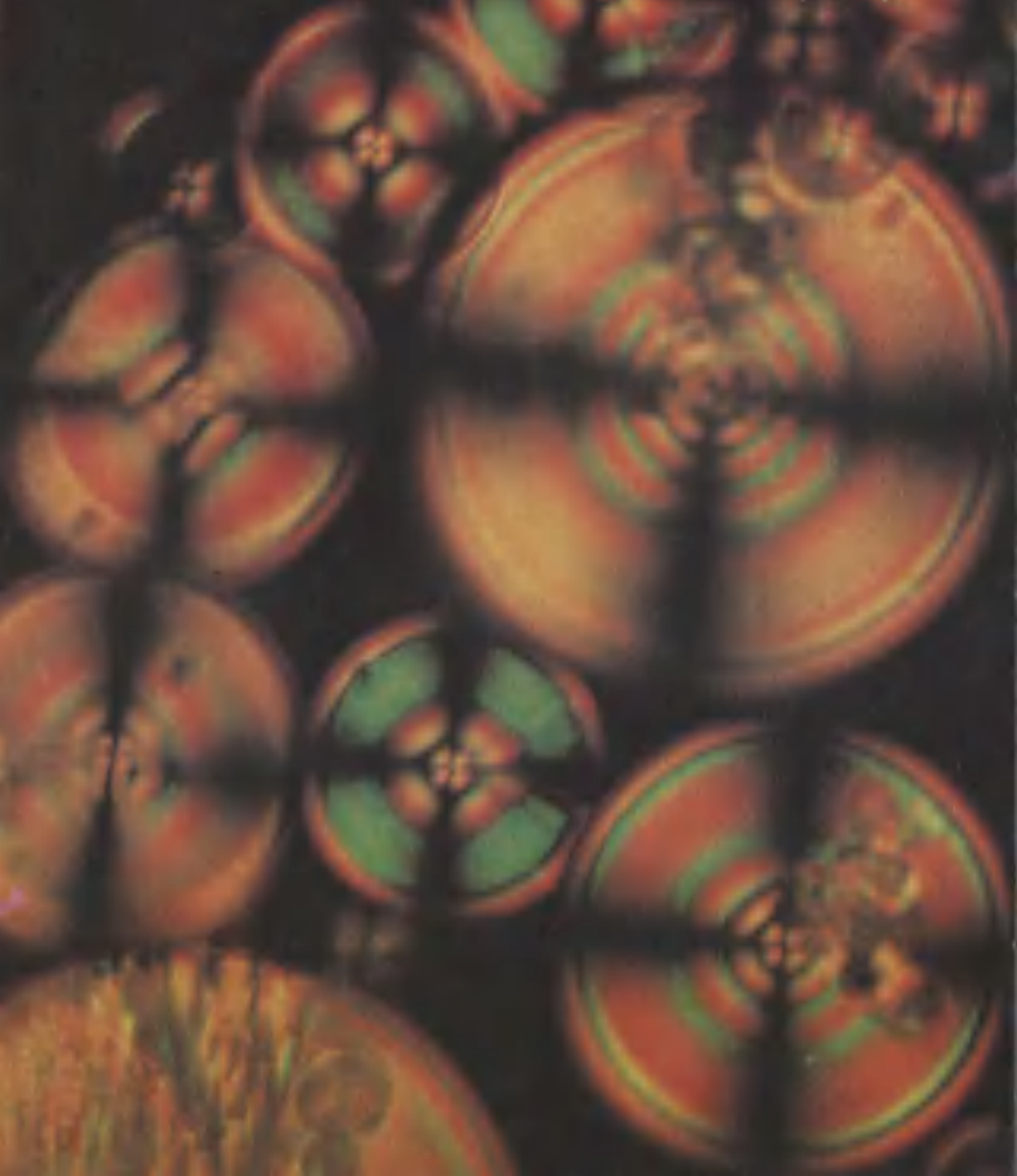


12 ПРИРОДА

1986



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Заместитель главного редактора
кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Академик
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Основан в 1912 году

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Сферические капли жидкого кристалла в поляризационном микроскопе. См. в номере: Курик М. В., Лаврентович О. Д. Как увидеть монополь.
Фото А. Д. Жданова, О. Д. Лаврентовича.

На четвертой странице обложки. Ягель — оленья пища. Учитывая ограниченные возможности кормовой флоры, оленеводы периодически меняли пастбища. См. в номере: Таксами Ч. М., Косарев В. Д. Экология и этнические традиции народов Дальнего Востока.

Фото В. Е. Лапина.

В НОМЕРЕ

- Шамин А. Н.** Интегративные функции физико-химической биологии 3
Область знания, получившая наименование физико-химической биологии, в наши дни все в большей степени влияет на науку в целом. Это направление биологической науки объединяет весь комплекс наук о жизни
- Гегузин Я. Е.** Необычные «путешественники» — включения в кристаллах 11
Можно ли представить себе что-либо более застывшее и неизменное, чем кристаллы? Но оказывается, существует явление, которое в известной степени стирает границу между кристаллами и жидкостями. В них могут «плавать» разнообразные микроскопические включения: капли жидкости, газовые пузырьки, твердые примеси и т. п.
- Кусков О. Л.** Структура переходной зоны мантии 20
В результате вычислительного эксперимента, имитирующего условия высоких температур и давлений в недрах планеты, выясняется, что на глубинах от 400 до 700 км происходит множество химических и фазовых превращений в минералах, которые становятся все более плотными.
- Таксами Ч. М., Косарев В. Д.** Экология и этнические традиции народов Дальнего Востока 28
В основе взаимодействия дальневосточных аборигенов с природой лежали экологически обоснованные и закреплённые в этническом сознании правила бережного отношения к естественным ресурсам. При современном освоении Дальнего Востока необходимо принимать эти правила во внимание.
- Пушаровский Ю. М.** Океанские экспедиции и тектоника Земли 33
Родившаяся в 60-х годах концепция тектоники плит способствовала переходу теоретической геологии на позиции мобилизма. Однако не все фактические данные, полученные за последние годы в океанских экспедициях, укладываются в ее рамки. Возникает новая тектоническая концепция.
- Павлов Г. Ф., Пляшкевич А. А., Савва Н. Е.** Колымский фульгурит 42
Стеклянная трубка, оставшаяся в рыхлых породах как след удара молнии, обнаружена в верховьях Колымы. По-видимому, это самое крупное из подобных образований, найденное на территории СССР.
- Брук С. И.** Население мира на пороге XXI века 44
Многие ученые полагали, что в послевоенное время произойдет «демографический взрыв». Их опасения оказались напрасны: во многих странах за несколько последних десятилетий темпы роста населения снизились. Прогнозы ООН относительно численности населения мира к концу столетия (6 млрд человек), по-видимому, завершены.
- Курик М. В., Лаврентович О. Д.** Как увидеть монополю 55
Существуют ли изолированные магнитные заряды — монополи? Сегодня с определенностью ответить на этот вопрос не может никто. И тем не менее монополю можно наблюдать... в жидких кристаллах.
- Бурба Г. А.** «Вояджер-2» в системе Урана 62
В начале 1986 г. американская межпланетная автоматическая станция «Вояджер-2» пролетела вблизи Урана и пересекла орбиты его колец. Обнаружены спутники-«пастихи», неизвестное ранее десятое кольцо, получены детальные фотографии пяти больших спутников планеты.

Мамаев О. И. Глубинные воды Черного моря	70
Их температура не меняется ни студеной зимой, ни знойным летом. Это «старые» воды, и, быть может, в них еще не стерта информация о климате далеких эпох.	
Косыгин Ю. А. Земля и Вселенная	79
На земле обнаружены породы, возраст которых, по некоторым данным, значительно превышает признанный возраст нашей планеты и приближается к возрасту Вселенной. Необходимо согласовать эти геологические данные с космологическими построениями.	
Шуколюков Ю. А. Комментарий геохимика	83
Зельдович Я. Б. Комментарий астрофизика	85
Берзин А. А., Блохин С. А. Серый кит в Охотском море	86
Охотско-корейская популяция серого кита, которая считалась исчезнувшей, начинает возрождаться.	
Киселев Л. Л. Двойная жизнь антикодона	88
В молекулярном механизме биосинтеза белка долгое время оставалось непонятным, как достигается соответствие между аминокислотами, из которых строится белок, и тройками нуклеотидов (кодонами), кодирующими этот белок. Опыты последних лет показали, что участок молекул тРНК — антикодон — играет двойную роль: он узнает и кодон, и фермент, избирательно присоединяющий аминокислоту к тРНК	

ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ

Буруковский Р. Н., Сиренко Б. И. Древнейшие омары	83
--	-----------

НОВОСТИ НАУКИ

Конец среднего гринвичского времени (69) • Запуски космических аппаратов в СССР (июль — август 1986 г.) (96) • Транспольярные дуги (96) • Механизм отрыва кометных хвостов (97) • Поиски далеких квазаров (98) • Вселенная в разрезе (98) • Скрытая масса и гравитационные линзы (99) • К чему приводит столкновение галактик (100) • Сколько галактик в скоплениях и сверхскоплениях? (101) • Экспериментальная проверка специальной теории относительности (101) • Лазерная технология обработки мрамора (102) • Мощные компактные лазеры (102) • Сверхкороткие звуковые импульсы (103) • Аномальная ионизация кометного газа (103) • Почему столь велика диффузия электронов в токамаке? (104) • Сверхпроводимость при 30 К? (104) • Циклотроны для производства медицинских радионуклидов (105) • Звук и окислы азота в воде (105) • Белок узнает метилированную ДНК (106) • Белок для биологических часов (106) • Макрофаги распознают эритроциты (107) • Древнейший половой гормон (107) • Лазер в генной инженерии (107) • Заблудившиеся гены (108) • Вместе или порознь (108) • Лекарство могут доставить эритроциты (108) • Обезболивание при стрессе (109) • Психофизиология младенцев (109) • Реакция на семантическую несовместимость (110) • Фармацевтические способности скворца (110) • Третий тип рибосом (111) • Искусственные двойни у коров (111) • Плюющийся паук (111) • В защиту мигрирующих видов (112) • 106-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» (112) • Платина в железомарганцевых конкрециях (113)	96
--	-----------

РЕЦЕНЗИИ

Перцов Н. В., Газизова О. Р. Новое об ученом и государственном деятеле XVII в (на кн.: Г. К. Цверева. Дмитрий Алексеевич Голицын. 1734—1803)	114
---	------------

НОВЫЕ КНИГИ

Физика космоса: маленькая энциклопедия (85) • Гиляров М. С., Криволицкий Д. А. Жизнь в почве (117) • Евсюков В. В. Мифы о мироздании (117) • Белокобыльский Ю. Г. Бронзовый и ранний железный век Южной Сибири: История идей и исследований. XVIII — первая треть XX в. (117)	117
--	------------

Тематический указатель журнала «Природа» 1986 года	118
---	------------

Авторский указатель журнала «Природа» 1986 года	126
--	------------

Укрепить связи науки и производства, создать такие организационные формы интеграции науки, техники и производства, которые позволят обеспечить четкое и быстрое прохождение научных идей от зарождения до широкого применения на практике.

Основные направления экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года

ИНТЕГРАТИВНЫЕ ФУНКЦИИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ

А.Н.Шамин

За истекшие четверть века — срок короткий, если исходить из привычных исторических мерок, — в естествознании произошли головокружительные перемены. Новые достижения науки повлекли за собой постановку новых проблем. Открылись обширные горизонты практических приложений нового знания. Все это в значительной мере связано с впечатляющими достижениями биологии, переместившими ее на передовые рубежи научного прогресса¹.

Можно смело утверждать, что ныне на концептуально-методологическое оснащение науки все в большей степени влияет биология. Она вырабатывает свой, новый стиль мышления, который оказывает возрастающее воздействие на стиль мышления в науке в целом, причем не только в естествознании, но и в математике, и гуманитарных науках.

Не менее важным является формирование биотехнологии — новой, необычайно динамичной области практического приложения биологического знания. Формирование биотехнологии знаменует решительное включение биологии в процесс научно-технической революции (НТР).

Изучение закономерностей и механизмов всех этих процессов представляет значительный теоретический и практический интерес.



Алексей Николаевич Шамин, доктор химических наук, заведует сектором истории химии Института истории естествознания и техники АН СССР. Специалист в области истории науки и науковедения. Основные интересы — история физико-химической биологии, проблемы структуры науки и научных организаций. Автор ряда книг, в том числе: История химии белка. М., 1976; Путь к синтезу белка (совместно с В. Т. Ивановым). Л., 1982; Строение и функции белков (совместно с Ю. А. Овчинниковым). М., 1983.

¹ См.: Баяев А. А., Шамин А. Н. // Вопр. истории естествознания и техники. 1985. № 3. С. 3—10.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ В СТРУКТУРЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

В структуре естествознания наибольшим изменениям подвергалась структура биологических наук. В триаде основных естественных наук — физике, химии, биологии — биологии ранее отдавалось должное скорее благодаря ее предмету и целям, нежели результатам. Ныне биологические науки изменились принципиально и отличаются от биологии XIX в. и даже от биологии первой половины XX в. Механизм этих изменений стал предметом пристального изучения науковедов. Первоначально их объясняли как смену экстенсивной фазы развития последарвиновской биологии интенсивной экспериментальной фазой, в пределах которой сформировались классическая генетика и биохимия, что привело биологию к «молекулярному рубежу», с последующим наступлением новой экстенсивной фазы².

Однако изменения, происшедшие в современной биологии, были гораздо глубже и носили революционный характер. На смену классической биологии, по преимуществу описательной и объяснительной, пришла неклассическая биология, которой присуща четко выраженная тенденция к формированию новых теоретических основ с широкими границами общности — от клетки до организма и, далее, до сообществ организмов. И ведущую роль в этом процессе играет область знания, возникающая в зоне взаимодействия биологии с химией, физикой и математикой.

Эта область знания, получившая наименование физико-химической биологии, объединила биохимию, биофизику, биоорганическую химию, молекулярную биологию, ряд направлений молекулярной генетики, вирусологии, микробиологии, цитологии, иммунологии и других наук. Полностью сохранив цели и задачи биологии, новое направление существенно расширило возможности биологического познания. От химии оно приобрело надежность постановки эксперимента, четкость и доказательность аналитических, синтетических и кинетических методов, от физики — универсальность экспериментальных методов и высокую культуру теоретического осмысления, от математики — точность, быстроту и полноту обработки результатов, независимость подходов и оценок. Орга-

ническое единение всех этих слагаемых и дало начало качественно новой области науки о мире живого.

Прогресс биохимии и генетики, обусловивший революционные изменения в биологии, был длительным историческим процессом. Череду выдающихся достижений, свершившихся на наших глазах, по образному выражению Ф. Крика, была «началом конца и концом начала» — важнейшей вехой формирования современной биологии.

Современная биология — наука экспериментальная по преимуществу. Но она стала такой не сразу. Неудовлетворенные медленными темпами формирования теоретических основ биологии (как науки об основах жизнедеятельности), физики и химии давно пытались сыграть центральную роль в ее прогрессе. Еще в прошлом веке физики видели в классической механике основание не только для физики, но и для всего естествознания. Слова П. Лапласа: «Дайте мне исходные данные, и я предскажу будущее мира» — звучали девизом этого мировоззрения.

Новейшая физика сохранила эту уверенность в полной мере. А. Эйнштейн сделал лишь одну оговорку: «Путем чисто логической дедукции из общих положений, лежащих в основе мысленных построений общетеоретической физики, можно было бы вывести картину, т. е. теорию всех явлений природы, включая жизнь, если этот процесс дедукции не выходил бы далеко за пределы творческой возможности теоретического мышления»³.

И сейчас найдется немало физиков, которые отведут и эту оговорку, ссылаясь на прогресс вычислительной техники, и никто из них не усомнится в том, что фундаментальны лишь законы микромира. Р. Фейнман не оставляет сомнений относительно точки зрения физиков. «Если бы нас попросили назвать самое главное положение, которое ведет сейчас биологию вперед в ее попытках понять явления жизни, — говорит он, — мы должны были бы сказать: «Все тела состоят из атомов», все, что происходит в живых телах, может быть понято на языке движений атомов, которые совершаются в соответствии с физическими законами. Это положение принято теперь повсеместно и приносит огромную пользу биологии, порождая новые идеи»⁴.

² См.: Печенкин А. А. Интенсивные и экстенсивные процессы в развитии научного знания // Природа. 1979. № 5. С. 62—69.

³ Einstein A. Ideas and opinions. L., 1956. P. 306.

⁴ Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Вып. I. М., 1965. С. 27.

Не вдаваясь в обсуждение идеи «физического фундаментализма» отметим лишь, что современные биологи, прежде всего биофизики и биохимики, четко представляют себе, что смысл биологических исследований теряется на уровнях ниже молекулярного. Самые сложные для химика молекулы — белки и нуклеиновые кислоты — для биолога являются простыми системами, так как при дальнейшем их упрощении утрачиваются биологические свойства. Другими словами, правомерно существование молекулярной биологии, но нельзя говорить о субмолекулярной, или атомной, или квантовой биологии — эти термины бессмысленны.

ЗАПОЛНЕНИЕ «ВИЛКИ ШЕПЛИ»

О том, что научные направления, формирующиеся в зоне взаимодействия химии и биологии, играют особую роль (и методологическую, и познавательную), предполагалось достаточно давно. Так, в классификации материальных систем, предложенной более полувека назад астрономом Х. Шепли, на основной шкале размерности выделялась ветвь объектов, относящихся к нулевому классу. Эта ветвь, перпендикулярная основной шкале, объединяла все объекты живой, органической природы, включая человека⁵. Таким образом, классификация Шепли, в основе которой лежало предположение об усложнении объекта при увеличении его размеров, образует как бы своеобразную «вилку». По основной шкале размерностей располагаются объекты от субъядерных образований (класс размерностей — 4, реальные размеры от 10^{-13} см и меньше) до метagalactic и Вселенной (классы размерностей +7 — +8, реальные размеры от 10^{27} см и больше). Нулевая же шкала представляет собой последовательность объектов, усложняющихся по иному принципу, нежели объекты, расположенные на основной шкале (реальные размеры объектов органического мира от 10^{-11} см до 10^3 см).

Вне зависимости от того, какая принимается концепция генезиса и эволюции естественных наук, мы неизбежно придем к констатации разрыва между науками «физическими» (основная шкала) и «органическими» (нулевая шкала) и к пониманию необходимости его заполнения. В первой трети XX в. уже существовала наука,

отчасти заполняющая этот разрыв. Это была биохимия, которая в «вилке Шепли» соединяла «органическую» и «физическую» ветви в единую систему материальных объектов (и, соответственно, в единую систему естественных наук).

Однако биохимия как наука формировалась в условиях дифференциации естествознания, и биохимики предпочитали подчеркивать ее отличия от физиологии и химии, а тем более от физики, стремились четче определить предмет и заботились о создании собственных методик, рассматривая их связь с химией и физической скорее как формальную. Они утверждали, что методология новой науки позволяет ей решать специфические задачи — прежде всего речь шла об ответах на вопросы: как работает клетка? какие механизмы обеспечивают протекание в клетке разнообразнейших химических реакций, лежащих в основе ее жизнедеятельности? что определяет последовательность этих реакций?

Ныне ситуация изменилась. Дж. Кендрию, один из основателей молекулярной биологии, так объяснил формирование новой биологии: «Биологи прежних лет в целом продвигались сверху вниз. Они начинали с целого организма, потом разнимали его на части и рассматривали отдельные органы и ткани; далее они изучали отдельные клетки под микроскопом — так мало-помалу они продвигались вниз, от сложного к простому. Новая биология начинает с другого конца и продвигается с самого низа вверх. Она начала с простейших компонентов живого организма — стала изучать отдельные молекулы и их взаимодействие внутри клеток, пренебрегая всем остальным. Теперь пришла пора обратиться к этому остальному и двигаться вверх вдоль иерархии биологической организации»⁶.

Это была программа, реализация которой и привела к формированию физико-химической биологии и интеграции всей «органической ветви».

Вместе с тем реализация редукционистских программ (а их было немало) привела к тому, что ключевую роль в революционном преобразовании биологии сыграли химики или те биологи, которые, вольно или невольно, сознательно или стихийно, не просто использовали методы химии для изучения биологических объек-

⁵ См.: Шепли Х. Звезды и люди. М., 1962. С. 11.

⁶ См.: Кендрию Дж. Некоторые замечания по истории молекулярной биологии // Историко-биологические иссл. Вып. 9. М., 1983. С. 139.

тов, но и учились при этом «химически мыслить».

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Значение новой научной дисциплины наиболее передовые биологи понимали достаточно давно. Предпринимались и вполне конкретные шаги для создания условий междисциплинарного объединения ряда биологических наук в зоне взаимодействия биологии и медицины с химией. Уже в 1890 г. в России был организован Институт экспериментальной медицины — первое в мире научное учреждение нового (комплексного) типа. В нем был организован химический отдел — специальная биохимическая лаборатория. Химия рассматривалась как движущее и оплодотворяющее начало и для более широких комплексных биохимических исследований. По инициативе Н. К. Кольцова в 1917 г. был создан Институт экспериментальной биологии, в составе которого к 1929 г. работали отделы: физико-химический, цитологический, культуры тканей, генетический, механизма (физиологии) развития и другие.

Н. К. Кольцов еще в 30-х годах четко формулировал программу исследований в области экспериментальной биологии. Это была редукционистская программа, отдававшая должное роли биохимии в решении фундаментальных биологических проблем. Он писал: «Для анализа мы всегда должны выделить какую-то часть сложнейшей исторически сложившейся и находящейся в непрерывном изменении системы живого организма, и мы изучаем эту часть без связи с целым, стремясь в то же время разложить на все более и более простые и понятные нам физические и химические компоненты... Такое неизбежное упрощение, непрестанное обогащающее науку все новыми фактами, влечет за собой опасность искаженного миропонимания лишь в том случае, если мы на нем останавливаемся, забывая о необходимости синтеза отдельных изученных нами частей в единое целое»⁶. И еще: «Моим стремлением всегда было довести эти слагаемые до простоты химических и физических процессов, протекающих в молекулярных структурах... Каждый желающий сказать свое слово исследователь должен стремиться довести

упрощение до конца. И он совершенно прав, если только не забывает при этом о необходимости синтеза, который снова должен воссоздать из физических и химических слагаемых сложную картину жизни со всеми ее качественными особенностями»⁶. Подчеркнем, что это слова не химика и даже не биохимика, а биолога, создателя первой концепции матричного механизма воспроизведения генов.

На определенном историческом этапе (в первой половине XX в.) функции синтеза и интеграции брала на себя единственная дисциплина — биохимия. Значение этой функции биохимии понимали и другие биологи. Дж. Холдейн в 40-х годах писал: «Биохимия — это ключ к решению любых вопросов фундаментального значения для органического мира»⁷. А несколько лет назад Э. Чаргафф, один из основателей молекулярной биологии, сказал, имея в виду уже современную ситуацию: «Под одной «молекулярной крышей» различные биологические дисциплины достигли невозможного прежде объединения усилий и сомкнулись с химией — наукой о молекулах, одной из немногих, не терпящих расплывчатых определений, которая служит цементирующей основой для отдельных биологических направлений. {...} Что бы от нас осталось, расстанься мы с молекулами?»⁸.

Таким образом, именно благодаря биохимии как главной предпосылке возникновения физико-химической биологии общая биология пошла по тому же пути развития, по которому ранее шла физика и химия. Важнейшим фактором этого развития явился прогресс биологического эксперимента, когда вместо натурфилософских общих вопросов типа «В чем сущность жизни?» биологи в эксперименте стали ставить частные вопросы и получать на них общие ответы. Так было в экспериментах О. Эйвери, показавшего, что наследственная информация связана с ДНК, так было в экспериментах М. Ниренберга, сделавшего первый шаг к расшифровке генетического кода, так было в экспериментах А. Н. Белозерского по определению состава ДНК, в которых были заложены основы геносистематики.

⁶ Кольцов Н. К. Роль гена в физиологии развития // Биол. журн., 1939. Т. 4. № 5. С. 757.

⁷ Haldane J. B. S. New path in genetics. L., 1941. P. 46.

⁸ Chargaff E. How genetics got a chemical education // The origins of modern biochemistry. A retrospect on proteins. N. Y., 1979. P. 345.

⁵ Кольцов Н. К. Организация клетки. М.; Л., 1936. С. 7.

Начало биологии как современной науки традиционно связывается с созданием эволюционного учения. Эволюционные идеи были важнейшим, но не единственным вкладом в развитие биологии. Другим вкладом стала экспериментальная биология, формирование которой было подготовлено созданием клеточной теории и новыми способами исследования клетки с помощью физических и химических методов. С развитием биологии изучение отдельных организмов качественно изменилось, обрета новые возможности для построения биологической теории. Даже такой классический биологический метод, как сравнительный анализ, приобрел совершенно новый облик на цитологическом и, тем более, на молекулярном уровне. Таким образом, изучение клетки (и организма как клеточной системы) стало новой логической (и методологической) линией развития биологии.

В области физико-химической биологии особенно четко проявляются такие особенности современных методов исследования, как повышение их универсальности и, благодаря этому, превращение их в объединяющий, интегрирующий фактор. Это можно продемонстрировать на примере хроматографических методов, различных спектральных методов определения строения органических соединений, радиоиммунноанализа¹¹.

Интегрирующая роль методов в физико-химической биологии усиливается благодаря не только их универсализации, но и благодаря широкому внедрению в эксперимент электронно-вычислительной техники. Возрастание роли автоматизации не означает, что настала эпоха, когда появление новых фундаментальных открытий происходит как результат планируемой постановки проблем. В истории физико-химической биологии тому немало примеров. Так, в 1957 г. А. С. Спирин и А. Н. Белозерский предсказали существование информационной РНК скорее благодаря нетипичным условиям проведения эксперимента — отказу от использования стандартных реактивов. Они готовили ряд реактивов непосредственно перед экспериментом и добились успеха. Американские ученые, используя коммерческие препараты, повторить успех советских ученых не смогли. А. С. Спирин, работая в США, указал им на их ошибку.

ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ

Среди факторов, которые определили формирование и развитие физико-химической биологии, были и внутренние ей присущие, и внешние, причем разнохарактерные: от воздействия смежных наук до влияния технического прогресса и давления социально-экономических факторов различного порядка. К примеру, химическое мышление распространялось именно на те области, которые считали связанными с самыми глубокими и интимными жизненными процессами — к числу таких относили, в частности, все биокаталитические процессы.

Рассмотрим еще один пример. Такое фундаментальное для биологии понятие, как «специфичность», является результатом внедрения в биологию строгих химических структурных представлений. Его ввел химик Э. Фишер, имея в виду соответствие субстрата и фермента в акте биокатализа. Но он обосновал и природу этого явления, связав его с химическими свойствами биополимеров (белков) и показав возможность существования веществ, которые обладают как химической индивидуальностью (т. е. обладающих точной химической формулой), так и индивидуальностью биологической (т. е. способностью служить химическим видовым и даже индивидуальным признаком). Э. Фишер изложил свои мысли в статье «Изомерия пептидов», опубликованной еще в 1916 г. В этой работе были заложены, по существу, химические идейные предпосылки формирования биоорганической химии и молекулярной биологии, а следовательно — будущего объединения биохимических наук. От работ Фишера логическая линия ведет к классификации Л. Полинга и Э. Цукеркэндела, учитывающей степень, в которой молекулы отражают содержащуюся в организме информацию о процессе эволюции.¹² Введенное этими учеными представление о семантофоретических молекулах, или семантидах (семантиды первого порядка — молекулы ДНК), в генезисе науки имеет своим истоком исследованный Фишером «изомеризм пептидов». Правда, сами полипептиды попали в разряд третичных семантид, но это не удивительно: ведь уже после работ Фишера был обнаружен вто-

¹¹ См.: Кара-Мурза С. Г. Проблемы организации научных исследований. М., 1981.

¹² См.: Антонов А. С. Эволюция генов растений: вызов теории «молекулярных часов» // Природа. 1986. № 7. С. 68—77.

рой класс биополимеров — нуклеиновые кислоты, обладающие и химической, и биологической индивидуальностью, которые оказались основными хранителями биологической информации.

Формирование физико-химической биологии — это закономерное развитие биологического познания. В структурном отношении оно представляет собой сближение, а затем слияние трех достаточно независимых линий исследования. Первая линия — генетическая. Она берет начало от основополагающих экспериментов Г. Менделя, обосновавших корпускулярную природу наследственности. Однако эта идея могла быть реализована до конца только с установлением химической природы гена.

Поэтому второй линией стали исследования биополимеров — белков и нуклеиновых кислот, которые последовательно выступали как «претенденты» на роль гена. Как известно, первая модель гена (Н. К. Кольцов, 1927 г.) предполагала его белковую природу. Применительно к нуклеиновым кислотам потребовалось доказательство их распространенности во всех клетках (А. Н. Белозерский, 1936 г.) и утверждение их специфичности (Э. Чаргафф, 1947 г.).

Эти две линии соединились лишь после того, как был осмыслен эксперимент О. Эйвери, показавшего, что открытая в 1928 г. Ф. Гриффитом трансформация микроорганизмов обусловлена ДНК (1944 г.). То был важный рубеж: ДНК и наследственность оказались соединенными вместе.

Была еще третья линия, без развития которой создание основ физико-химической биологии явилось бы неполным. Требовалось выяснить, каким образом наследственная информация закреплена в белках. Уже в начале века К. Рабль, А. Фик, В. Ружичка, А. Щепотьев говорили о наследственности как способности живых организмов «вырабатывать такую стереохимическую группу атомов, которую имели предки данной особи». В 1909 г. А. Гаррод в работе «О врожденных нарушениях» впервые связал действие гена и фермента. Эта идея нашла воплощение в постулате Дж. Бидла и Э. Тейтума «Один ген — один фермент» (1940 г.). Одновременно разрабатывалась идея матричного биосинтеза (модель гена, предложенная Н. К. Кольцовым, учитывала это требование, а в 1935 г. М. Демерец впервые предположил, что наследственной молекулой является ДНК).

Далее события развивались по хорошо известной схеме. В 1947 г. появилось понятие «код», в 1953 г. была создана модель ДНК. И все три линии оказались смещенными в основополагающих представлениях молекулярной биологии, разработанных Дж. Уотсоном и Ф. Криком.

Таким образом, даже в истоках формирования физико-химической биологии лежал интеграционный процесс. Но он преимущественно рассматривался как процесс дифференциации, поскольку одновременно служил для выделения молекулярной биологии или, в принятых ныне в социологии терминах, когнитивной, а затем и социальной институционализации этой дисциплины.

Интегативность этого процесса замечали лишь немногие специалисты — те, кто понял, что формирование молекулярной биологии, по сути дела «биохимической» дисциплины, так же как неизбежная институционализация биоорганической химии, ведет к образованию нового комплекса биохимических наук. Наступила новая эра в познании живой материи.

Формирующаяся физико-химическая биология владела развитыми методами исследований и системами понятий, на которых только и могло основываться изучение живой клетки со всей сложностью ее организации и функции, причем клетки и как изолированной системы, и как элемента высших систем — тканей органов, организма в целом. Физико-химическая биология располагает мощными средствами изучения материальных носителей жизнедеятельности — нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов и т. п., а также низкомолекулярных физиологически активных соединений.

В центре внимания физико-химической биологии оказались также молекулярные ансамбли и субклеточные образования. Познание их организации и функционирования ведется как «сверху», так и «снизу», от клетки и от молекулы.

Благодаря генетической инженерии физико-химическая биология впервые в истории науки смогла осуществить управление важнейшими биологическими процессами. Расшифровка строения генов, их синтез и возможности манипулирования с генетическим материалом впервые открыли пути создания новых организмов и модификации наследственности в нужном человеку направлении. Внедрение искусственных генов ряда белков и пептидных гормонов в микроорганизмы позволило

получить штаммы продуцентов человеческого интерферона, инсулина, ряда гормонов. В цель конкретных разработок превратилась идея о пересадке генов бактерий-азотфиксаторов непосредственно в растения.

Исследования в области физико-химической биологии (прежде всего исследования биологических регуляторов: простагландинов, гормонов, нейропептидов, феромонов и т. п.) открыли новые перспективы в изучении не только клеток, но и организма, его развития и функционирования в целом. При этом проблема рецепторов связала, например, исследования регуляторов с исследованиями на клеточном уровне. Изучение же таких веществ, как феромоны, вовлекло в сферу интересов физико-химической биологии даже судьбы популяций.

Из этих кратких примеров с достаточной очевидностью следует, что физико-химическую биологию характеризует четко выраженная интегративная функция в системе биологических наук. По существу речь идет о том, что история биологии перешла важный рубеж. Сложилась новая ситуация — биологические науки оказываются сгруппированными по новому принципу.

Прежде всего, формируется комплекс наук, в центре внимания которого оказались клетка и одиночный организм как клеточная система: новая «общая биология», с лидирующим направлением — «биологией клетки». Интегрирующей основой этого комплекса является физико-химическая биология.

В центре внимания другого комплекса биологических наук оказались сообщества организмов.

Эти два комплекса достаточно четко отдифференцированы друг от друга, но между ними имеется ряд «мостов», например генетика или химическая и биохимическая экология. Характерно, что и сами эти «мосты» испытывают интегрирующее давление физико-химической биологии.

Физико-химическая биология цементирует сейчас ранее весьма изолированные друг от друга науки, такие как цитология, эмбриология, нейрофизиология, иммунология и т. д. Вирусология приобрела новые черты, сосредоточив в себе мощный методический потенциал, связанный с манипулированием генетическим материалом. Необыкновенно преобразилась иммунология. Во-первых, практика иммунологии дала начало новому методическому направлению, вышедшему даже за рамки

физико-химической биологии в сферу органической и аналитической химии (аффинная хроматография, радиоиммунный анализ, иммуноэлектрофорез и т. д.). Во-вторых, новый теоретический заряд, в значительной мере обязанный прогрессу физико-химической биологии, привел к образованию иммунобиологии, направлению, которое само проявляет интегративные функции по отношению к ряду областей биологии и медицины.

Все эти процессы настолько интересны и важны, что заслуживают специального пристального изучения.

Процесс формирования нового типа науки о жизни, конкретно выражающийся в реализации интегративных функций физико-химической биологии, обусловлен серьезными преобразованиями в сфере методологии биологического познания. Молекулярные, субклеточные и клеточные подходы формируют новую единую науку о клетке — биологию клетки (первая фаза). Включение в этот процесс подходов на организменном уровне приводит к формированию новой науки об организме — общей биологии (вторая фаза).

Данный процесс будет сопровождаться усилением в биологии тенденций к доминированию теоретических элементов. Но биология не перестанет быть экспериментальной наукой. Изменится лишь содержание биологического эксперимента и его структура: он все более будет включать в себя и многие отлаженные операции. Эту возможность также открыла перед биологией физико-химическая биология: примером может служить автоматизация рентгеноструктурных исследований белков, прогресс математического моделирования в области молекулярной генетики. Эксперимент в новой биологии будет орудием теории, оперативным средством проверки гипотез, а не только накопления эмпирического материала.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

Физико-химическая биология формирует новые связи с практикой. Фактически именно в сфере физико-химической биологии впервые среди естественных наук оказались структурно объединены фундаментальные и прикладные исследования. Фундаментальные исследования реализовывались как прикладные и находили выход в практику в одной и той же лаборатории. Наиболее выразителен пример из области генетической инженерии.

Здесь фундаментальные исследования, связанные с изучением генетического материала, разработкой методов его введения в живую клетку, сопровождались получением промышленных штаммов микроорганизмов. В Советском Союзе эти работы привели к рекордно быстрым срокам внедрения новых технологий.

Таким образом, интегральные функции физико-химической биологии проявляются не только в интегрировании дисциплин, расположенных по фронту развития науки, но и воздействуют на исследование «в глубине» этого фронта, в зоне преобразования фундаментального знания в конкретные технологии, в промышленное производство.

В журнале «Биотехнология» перечислены приоритетные проблемы современной биотехнологии¹³. Характерно, что их нельзя дифференцировать по признаку: фундаментальные исследования — прикладные исследования — разработки — внедрение. Простое перечисление их показывает насколько сильно интегрированы эти исследования (в статье они названы «биотехнологическими разработками») на основе принципов физико-химической биологии:

изучение молекулярных и клеточных основ иммунологии, разработка методов иммуносорбции и использование их в биотехнологии, создание новых диагностикумов и вакцин;

изучение новых биорегуляторов и создание на их основе новых медицинских и ветеринарных препаратов и биологических средств защиты растений;

развитие методов генетической инженерии и клеточной инженерии в интересах биотехнологических производств и сельского хозяйства;

разработка физико-химических основ энзимологии, внедрение новых биокатализаторов, в том числе иммобилизованных, для получения химических и пищевых продуктов;

повышение эффективности механизмов фотосинтеза и биологической фиксации азота, получение новых азотфиксаторов;

исследования в области биомембран и процессов рецепции;

разработка новых биоспецифических полимерных адсорбентов для медицины,

биохимии и пищевой промышленности; создание новых и усовершенствование старых биотехнологических процессов получения биологически активных веществ с использованием растительных и животных клеток и иммобилизованных микроорганизмов, разработка новых пищевых и вкусовых добавок;

изучение биоконверсии растительного сырья с целью использования лигно-целлюлозных материалов и получения продуктов на их основе;

разработка научных основ биологических методов добычи и переработки минерального сырья и извлечения из него цветных и благородных металлов;

разработка биологических методов защиты окружающей среды от загрязнений, переработки и утилизации отходов с получением на этой основе ценных продуктов;

разработка и создание автоматизированных систем управления биотехнологическими процессами;

создание банков и коллекций генов и продуцентов необходимых веществ.

Очевидно, что изучение механизмов интеграции подобных исследований очень важно для практики: это основа научного и рационального управления исследованиями и производством.

Конечно, не все в развитии биотехнологии однозначно. Так, высокая чистота биотехнологического производства требует больших количеств очень чистой воды. Существует проблема обучения и подготовки кадров, преодоления психологических барьеров, что связано с принципиальными перестройками научного обеспечения отрасли (т. е. структуры физико-химической биологии) и быстрой сменой технологии и т. д. и т. п.

Очевидно, что процесс формирования физико-химической биологии и органически связанной с ней биотехнологии является сложным историческим процессом и нуждается в детальной, глубокой комплексной разработке. Такая работа особенно необходима для целей перспективного планирования, так как физико-химическая биология не только помогает решать задачи, которые традиционно ставила перед биологией производственно-техническая и медицинская практика, но намечает новые пути для развития науки и производства.

¹³ Промышленная биотехнология: горизонты XII пятилетки // Биотехнология. 1986. № 1. С. 1—6.

НЕОБЫЧНЫЕ «ПУТЕШЕСТВЕННИКИ»- ВКЛЮЧЕНИЯ В кристаллах

Я.Е.Гегузин

Можно ли представить себе что-либо более застывшее и неизменное, чем кристаллы? Недаром прилагательное «кристалльный» стало в обиходе характеристикой высшей степени твердости, стойкости и постоянства. Но, оказывается, в кристаллах наблюдается явление, которое в определенной степени ломает эти сложившиеся стереотипы восприятия.

Явление это выглядит так: чужеродное макроскопическое включение движется в кристалле, а вдоль его следа кристалл остается сплошным. Включения могут быть самыми разнообразными: это и твердые частицы инородного вещества, и жидкие капли, и полые поры, и заполненные газом полости. Причем имеются в виду как включения, «изначально» существовавшие в кристалле, так и преднамеренно внесенные в него извне.

«Здравый смысл» противится возможности такого движения. Другое дело камень, падающий в жидкости, или газовый пузырек, всплывающий в ней. Но чтобы «такое же» происходило в твердом и упорядоченном кристалле? А между тем происходит. Факты, как говорится, упрямая вещь и вынуждают «здравый смысл» считаться с ними.

Следует подчеркнуть, что речь идет вовсе не о каком-то экзотическом явлении, наблюдаемом лишь в специально созданных и искусственно поддерживаемых условиях. Это явление широко распространено в природе, подробно изучается в разных областях науки и активно используется в технике¹.

Естественны вопросы: как, при каких условиях, по какой причине, благодаря какому механизму и с какой скоростью включения могут двигаться? Попытаться ответить на них — основная цель этой статьи.

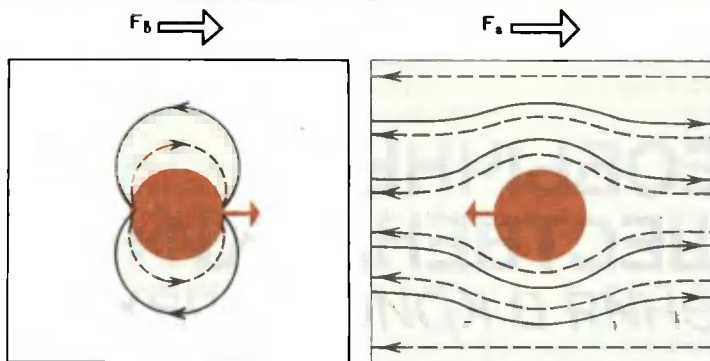
СИЛЫ, ВЫНУЖДАЮЩИЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ДВИГАТЬСЯ

Силы, заставляющие включение двигаться, существуют, о чем в согласии с законом Ньютона



Яков Евсеевич Гегузин, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой физики кристаллов Харьковского государственного университета им. А. М. Горького. Научные интересы связаны главным образом с процессами переноса вещества в кристаллах. Автор ряда монографий, в том числе: Физика спекания. Изд. 2-е. М., 1984; Диффузионная зона. М., 1979, а также научно-популярных книг, в частности: Капля. Изд. 2-е. М., 1977; Почему и как исчезает пустота. Изд. 2-е. М., 1983. Неоднократно публиковался в «Природе».

¹ См., напр.: Гегузин Я. Е., Кривоглаз М. А. Движение микроскопических включений в твердых телах. М., 1971.



Движение включения в кристалле под влиянием сил F_b (слева) и F_s (справа). Черными пунктирными стрелками показаны траектории вакансий возле включения (цветной кружок), сплошными — атомов кристалла, цветными — самого включения.

убедительно свидетельствует сам факт движения. Среда, в которой происходит движение, «сопротивляется» ему, и чтобы преодолеть это сопротивление, требуется сила.

Есть два различных типа сил, поддерживающих это движение. Отличаются они в основном тем, к чему приложены.

Одна возможность очевидна: сила F_s приложена непосредственно к включению. Именно так обстоит дело в классическом опыте Стокса, где тяжелый шарик тонет в вязкой жидкости или появившийся в ней газовый пузырек выталкивается на поверхность. Эта сила вынуждает жидкость перетекать от лобовой к тыльной поверхности включения. В монокристалле сила F_s возникает, например, если включение, в отличие от самого кристалла, ферромагнитно и на него действует магнитное поле; в поликристалле — если включение расположено на подвижной границе между зернами или связано с движущейся дислокацией.

Не станем продолжать перечень ситуаций, при которых возникает сила F_s — их много, а подчеркнем ее принципиальную особенность. Подобно тому как камень, тонущий в воде, возмущает ее лишь возле линии падения, включение, движущееся под влиянием силы F_s , вызывает диффузионное перемещение атомов кристалла, главным образом, около траектории движения.

Теперь несколько слов о силе иного типа. Обозначим ее F_b , подчеркивая индексом то обстоятельство, что приложена она не к включению, а к атомам кристалла. Такая сила появляется, если в кристалле создано силовое поле, скажем электрическое или поле напряжений. Эти поля вынуждают атомы, подчиняясь законам диффузии, направленно перемещаться во всем объеме кристалла. А в непосредственной

близости от включения движение атомов искажается — они как бы огибают его. Поскольку при этом атомы переходят с атомных слоев кристалла, расположенных перед включением, на слои, находящиеся позади него, это и означает, что включение смещается как целое по отношению к кристаллической решетке.

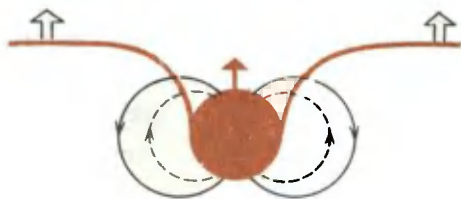
Процесс может происходить и по-другому, но об этом — несколько позже. А здесь заметим, что для эффективной силы F_s , определяющей скорость включения объемом V , справедлива примерная оценка: $F_s \approx f_s \cdot V/\omega$ (f_s — сила, действующая на атом со стороны поля, ω — объем, приходющийся на один атом кристалла), т. е. чем больше включение, тем большая сила на него действует.

Итак, две разных по происхождению силы приводят к одному и тому же результату: включение как целое движется в кристалле. Иными словами, мы ответили на вопрос, почему включение движется. А теперь попробуем понять, как это происходит.

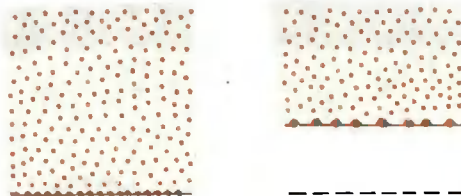
ДЕЙСТВИЕ СИЛЫ F_s

О падении камня в воде мы сказали бы: сила тяжести тянет камень вниз, а вода при этом течет от лобовой к тыльной поверхности камня. В этом коротком рассказе нет ничего специфически «жидкого». Разве лишь слово «течет». Наша задача и заключается в том, чтобы вложить физическое содержание в это слово, описывая движение включения в кристалле под влиянием силы F_s .

Начнем с того, что напомним два факта из физики кристаллов. Первый факт: в кристалле существуют незанятые атомами узлы решетки — вакансии, концентрация которых увеличивается с ростом температуры T . При этом регулярные атомы



Движение включения с границей между зернами поликристалла. Полые стрелки — направление сил, вызывающих движение границы [жирная линия], пунктирные и сплошные — потоки вакансий и атомов, цветная — смещение включения (цветной кружок).



Схема, иллюстрирующая укрупнение включений, которые перемещаются вместе с движущейся границей. За границей (жирная линия) остается зона, свободная от включений.

решетки могут мигрировать, замещая очередную вакансию, случайно оказавшуюся по соседству. Второй факт: сжатие кристалла понижает, а растяжение — повышает концентрацию вакансий в нем².

Теперь попытаемся выяснить смысл слова «течет» применительно к кристаллу. В кристалле под действием силы F_x у передней границы твердого включения (для определенности, шарика радиусом R) создаются сжимающие напряжения, а у тыльной — растягивающие. При этом у передней границы концентрация вакансий понизится и станет меньше равновесной, а у задней повысится и окажется больше равновесной. Разность этих концентраций вызовет диффузию вакансий к передней поверхности включения, а атомов кристалла — соответственно к задней, т. е. включение начнет двигаться с некоторой скоростью v . Например, в кристалле меди при температуре 1300 К включение в виде шара радиусом 10^{-5} — 10^{-6} м под действием силы $3 \cdot 10^{-5}$ Н станет двигаться со скоростью $3 \cdot 10^{-9}$ м/с и всего за час сместится на расстояние, примерно равное собственному диаметру.

И все-таки слово «течет» по отношению к движению включения в кристалле и падению шарика в вязкой жидкости означает не одно и то же. В самом деле, жидкость на пути от лобовой поверхности включения к тыльной действительно обтекает его, а в кристалле атомы могут перемещаться, диффундируя либо в объеме кристалла, либо в объеме включения, либо вдоль разделяющей их границы. Так что «узким местом», замедляющим движение включения, вполне способна оказать-

ся не сама диффузия, а отрыв атомов от одной атомной плоскости, находящейся у лобовой поверхности включения и их присоединение к другой плоскости, расположенной у его тыльной поверхности.

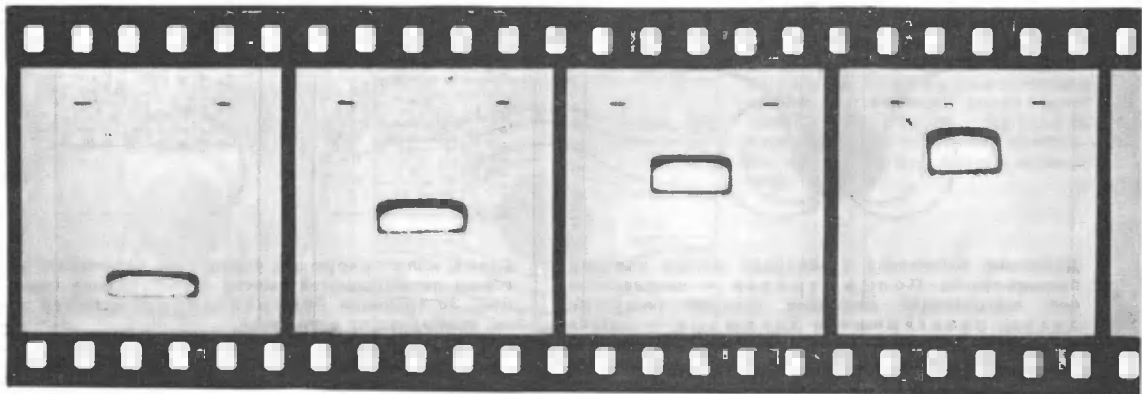
Во всех случаях, однако, различаются только зависимости v от R , а зависимость v от F_x остается неизменной: $v \sim F_x$. Но ведь именно такому закону подчиняется и медленное падение шарика в вязкой жидкости.

Впрочем, все сказанное справедливо лишь до тех пор, пока сила не превосходит некоторую предельную величину, после чего движение включения определяется уже пластичностью кристалла, а не рассмотренным выше диффузионным механизмом переноса массы. Для многих кристаллов эта величина составляет около $3 \cdot 10^{-4}$ Н.

ГРАНИЦА УВЛЕКАЕТ ВКЛЮЧЕНИЕ

А что будет происходить с включением, попавшим на движущуюся границу между зернами в поликристалле? Оказывается, включению «выгодно» оставаться на границе, ибо при этом ее площадь уменьшается, а значит, понижается и связанная с ней поверхностная энергия. Например, значение силы, удерживающей на границе включения радиусом 10^{-5} м (при величине удельной поверхностной энергии около $0,3$ Дж/м²), составляет примерно 10^{-5} Н. В результате граница «потащит» за собой это включение и иные подобные, встретившиеся по пути. Этот процесс отчетливо проявляется в порошковой металлургии, в частности при спекании пористых материалов: поры и заполненные газом полости, увлекаемые границей, сталкиваются и объединяются, резко меняя структуру материала. К счастью, специалисты-технологии научились управлять такими процессами.

² Подробнее об этом см.: Кирсанов В. В., Трушин Ю. В. Облучение напряженных металлов // Природа. 1986. № 11. С. 69—74.



ШАРИК ПАДАЕТ ... В КРИСТАЛЛЕ

Проверить, возможно ли «такое», удалось в простом опыте³. На верхней грани кубика, приготовленного из кристалла NaCl, KCl, LiF или KBr, создавалась небольшая лунка, в которую помещался шарик из платины радиусом $3 \cdot 10^{-4}$ м. Образец нагревали до температуры, при которой его поверхность слегка оплавлялась. При этом, однако, его форма не менялась: кристалл сохранял право именоваться кристаллом. Шарик же падал в нем со скоростью $10^{-3} - 10^{-4}$ м/с, почти не оставляя за собой видимых следов: на его пути кристалл оставался сплошным, если не считать цепочки обособленных друг от друга мелких удлиненных пор.

Попробуем понять механизм этого процесса. Если допустить, что в опыте вещество кристалла «перетекает» от лобовой поверхности шарика к тыльной уже знакомым нам диффузионным способом, то скорость его падения составила бы не 10^{-3} м/с, а 10^{-10} м/с — в 100 млрд раз меньше! Высказывалось и предположение о том, что между шариком и кристаллом образуется тонкий слой жидкости и перенос вещества происходит вдоль этого слоя. Такая возможность, вообще говоря, не исключена, но, как показали расчеты, в условиях описываемого опыта не реализуется. Остается, следовательно, допустить, что при температуре на $0,01^\circ$ ниже температуры плавления кристалл аномально легко пластически деформируется, в какой-то мере уподобляясь жидкости. Если, исходя из этого, найти его вязкость, она окажется очень малой — всего в миллион раз больше вязкости воды.

Кинограмма движения жидкого включения с водным раствором KCl в кристалле KCl под действием разности температур на лобовой и тыльной граничных поверхностях. Увел. 250.

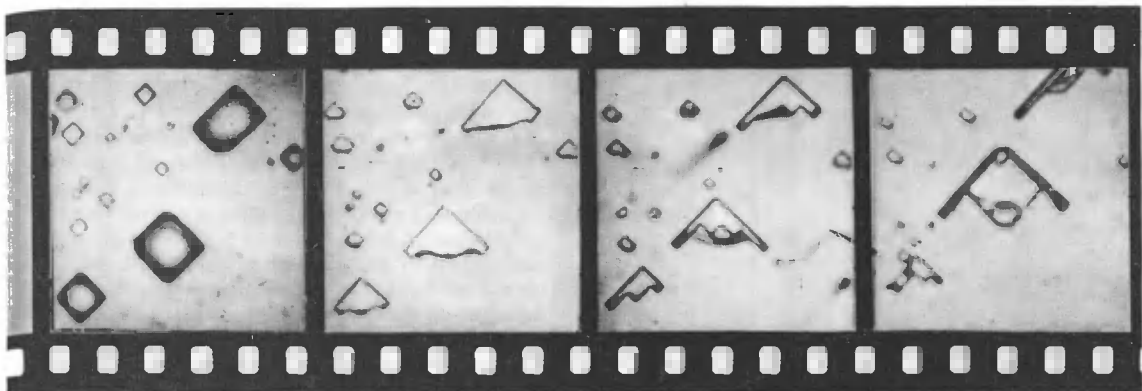
БРОУНОВСКОЕ ДВИЖЕНИЕ В КРИСТАЛЛЕ

В 1827 г. английский ботаник Р. Броун заметил, что частички цветочной пыльцы в капле воды на предметном столике микроскопа хаотически движутся. Прошло около 80 лет, прежде чем физики объяснили истинную причину такого движения, названного в честь открывателя броуновским. Оно обусловлено тепловым движением молекул жидкой среды и нескомпенсированностью «толчков» со стороны окружающих частицу молекул, вызывающих флуктуации давления, а стало быть, и силы F_n , приложенной к броуновской частице.

После всего сказанного можно представить себе, что и в кристалле микроскопическое включение должно совершать броуновское движение, хаотически диффундируя, как и обычные атомы. Правда, скорость его диффузии значительно меньше, чем у атомов, и быстро убывает с ростом размеров.

Броуновское блуждание пузырьков с $R \approx 10^{-8}$ м, заполненных гелием, наблюдали в образцах меди, предварительно облученных потоком α -частиц, а также в опытах с пластинками из двуокиси урана, в которых после облучения нейтронами образовывались пузырьки, содержащие газообразные осколки деления ядер урана. При повышении температуры (отжиге) пузырьки «блуждали» в образце, не утратившем своей кристалличности, сталкивались между собой, а некоторые из них даже выходили на поверхность, уменьшая таким образом содержание газа в пластинке.

³ Гегузин Я. Е., Кононенко В. Г., Чан Киеу Зунг // Физ. тв. тела. 1983. Т. 25. С. 1838—1840.



Микрофотографии, иллюстрирующие эволюцию пор в кристалле (увел. 300). Поры, перемещаясь в более горячую область кристалла, изменяют свою форму, увеличивая те грани, на которых поверхностная энергия минимальна.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ПОЛЯ

Во внешнем поле, как отмечалось, на атомы кристалла действует сила f_0 . Она порождает диффузионный поток, который, встретив включение, не прерывается, а «обтекает» его. При этом скорость включения по-прежнему пропорциональна силе.

Вот, пожалуй, и все, что нужно знать, приступая к анализу реальных ситуаций, в которых под влиянием силы f_0 происходит движение включений как в лабораторных, так и в природных условиях, а также в различных технологических процессах.

Рассмотрим, для примера, как движется жидкое включение в неоднородном тепловом поле, где $f \approx \theta \cdot \Delta T / T$ (ΔT — градиент температуры, θ — теплота, переносимая при диффузии, вызванной этим градиентом).

На границе, отделяющей включение от неоднородно нагретого кристалла, есть более нагретый и противоположный ему менее нагретый участки. Вблизи первого кристалл будет растворяться, так что атомы, попавшие в раствор, заполняющий включение, станут диффундировать по направлению ко второму участку и осаждаться на нем. Но ведь это и означает, что включение движется, «притягиваясь» к теплу.

Все рассуждения можно почти дословно повторить и для полого или заполненного газом включения: на «горячем» участке его поверхности вещество кристалла испаряется, а на «холодном» — конден-

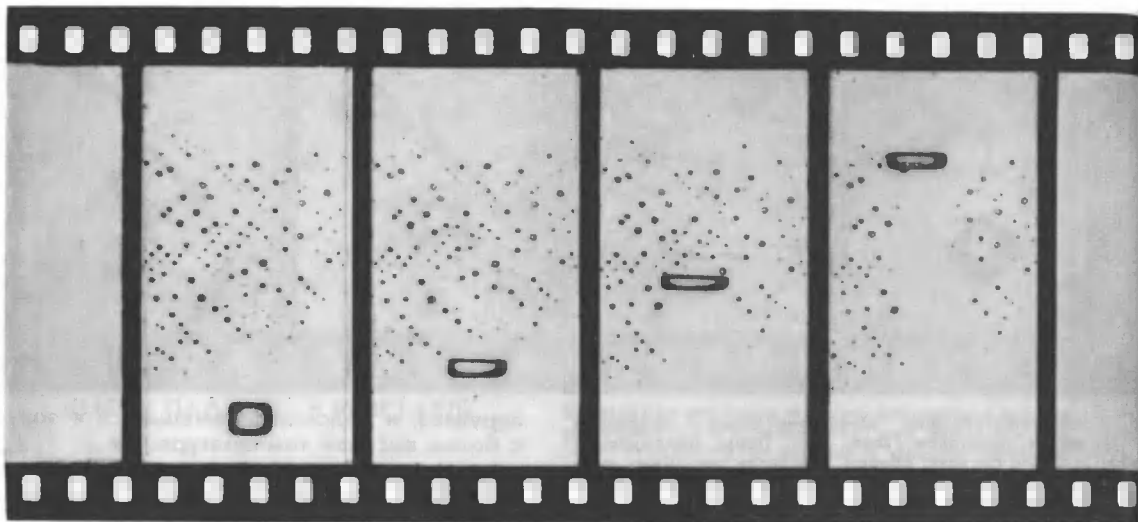
сируется, и полость перемещается в зону с более высокой температурой¹.

Есть, впрочем, здесь одна тонкость, о которой следует упомянуть. Поток вещества на пути от горячего участка поверхности к холодному приходится преодолевать три барьера. Во-первых, атомы кристалла должны покинуть горячую поверхность кристалла и перейти в раствор, преодолев «граничный» барьер; во-вторых, уже в растворе им предстоит продиффундировать к холодной поверхности, т. е. преодолеть диффузионный барьер, и наконец — «пристроиться» к холодной поверхности, несмотря на еще один граничный барьер. Преодоление этих барьеров происходит самосогласованно, так что поток вещества не прерывается и вещество нигде не накапливается. В зависимости от того, какой барьер труднее «взять», различной оказывается связь размера включения R с его скоростью v : если граничный — то $v \sim R$, а если диффузионный — то v от R не зависит. Конечно, пропорциональность v и R сохраняется лишь до некоторого значения R^* . При $R > R^*$ определяющим всегда оказывается диффузионный барьер.

ТРИ ОПЫТА С КРИСТАЛЛАМИ KCl

Во всех опытах, о которых говорится ниже, специально приготовленные образцы кристаллов KCl длительное время лежали в лабораторном эксикаторе — особом сосуде для медленного высушивания и сохранения веществ, легко поглощающих влагу из воздуха, — терпеливо «ожидая» экспериментатора, который эпизодически извлекал их и фотографировал всякий раз

¹ Гегузин Я. Е., Кружанов В. С. // Физ. тв. тела. 1973. Т. 15. С. 165—171.



одно и то же место. При такой прозаической процедуре исследования невольно возникает вопрос о смысле опытов. В чем же он?

Если в реальном кристалле имеются дефектные области (например, скопления дислокаций или радиационных повреждений), кристалл «стремится» избавиться от них⁵. Не в состоянии ли жидкое включение «помочь» ему в этом? Оказывается, столь странный, на первый взгляд, вопрос, вопреки «здравому смыслу», имеет утвердительный ответ. Получить же его удалось с помощью опытов, о которых пойдет речь.

В первом опыте в кристалл при высокой температуре вплавили кварцевый шарик, вокруг которого при остывании образца возникла область упругого сжатия.

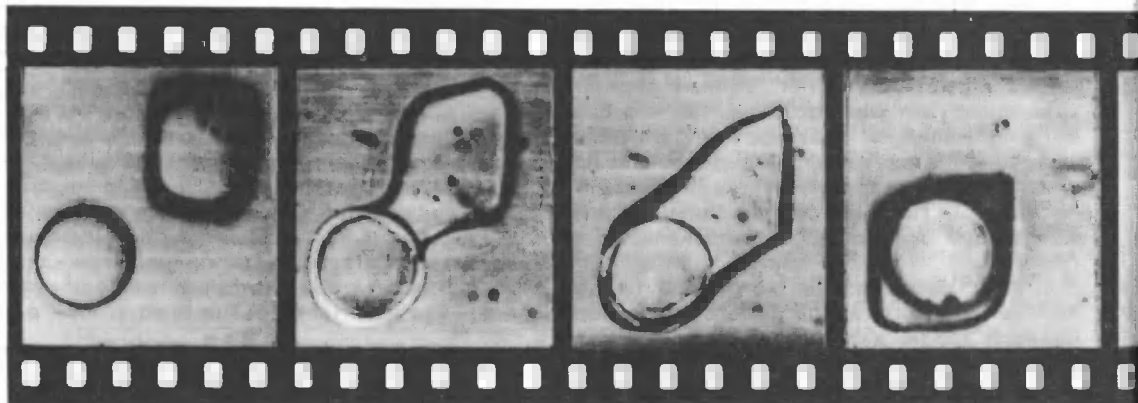
⁵ См. об этом упомянутую статью В. В. Кирсанова и Ю. В. Трушина.

«Разбухание» включений в процессе движения. Если скорость движения определяется «граничным барьером», крупные жидкие включения движутся быстрее мелких, догоняют и поглощают их, изменяя свои размеры и форму. $T=25^\circ\text{C}$, увел. 250.

При комнатной температуре в эту область ввели жидкое включение, которое стало двигаться к шарiku со скоростью около 10^{-10} м/с и со временем поглотило его, сняв значительную часть напряжений в кристалле⁶.

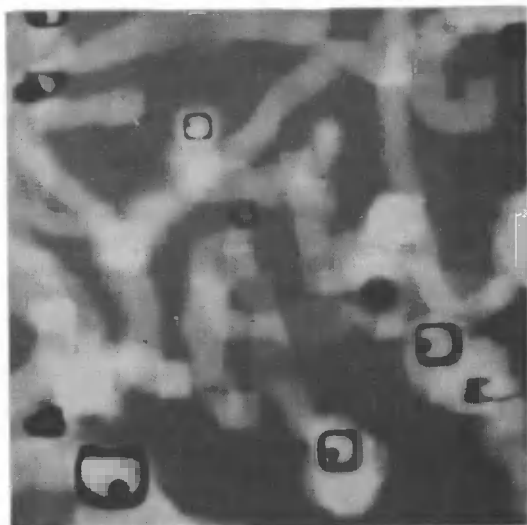
⁶ Гегузин Я. Е., Кружанов В. С. // Кристаллография. 1979. Т. 24. С. 866—867.

Движение жидкого включения в поле напряжений, созданных кварцевым шариком, вплавленным в кристалл KCl. Включение постепенно обволакивает шарик, снимая напряжения. $T=25^\circ\text{C}$, увел. 200.



Второй опыт был еще проще: вблизи поверхности кристалла создавали жидкие включения, а поверхность шлифовали грубой наждачной шкуркой. При этом в зоне у поверхности появилось множество дислокаций. Вот в эту-то зону включения самопроизвольно и перемещались.

Наконец, в третьем опыте кристалл с жидкими включениями облучался мощным потоком электронов высокой энергии. За счет этого в кристалле образовывались точечные дефекты — так называемые F-центры, обладающие некоторой порцией избыточной энергии и обеспечивающие изменение окраски кристалла при облучении⁷. Облученный кристалл имел равномерную фиолетовую окраску. С течением времени включения неупорядоченно перемещались, а за ними оставались просветленные дорожки, свободные от окрашивающих кристалл F-центров. Дело в том, что у лобовой поверхности включения вещество кристалла растворялось и оседало на других участках. В этом процессе F-центры просто-напросто разрушались, связанная с ними избыточная энергия выделялась и служила «горючим», которое поддерживало движение включения. Так же



Обесцвеченные дорожки — «следы», оставляемые движущимися жидкими включениями в кристалле KCl, окрашенном F-центрами. Увел. 270.

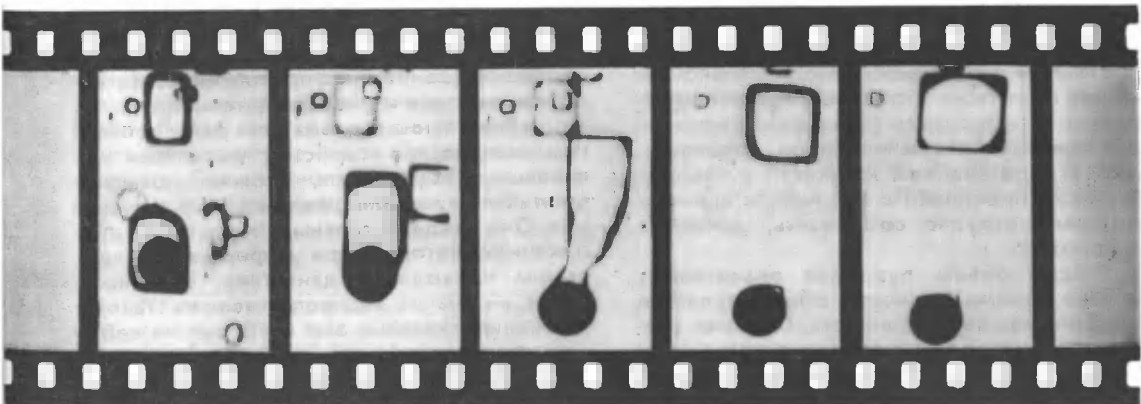
объясняются и результаты первых двух опытов: движение жидких включений обуславливалось исчезновением дефектов.

ПОРЫ В ИОННОМ КРИСТАЛЛЕ

Необычен механизм движения пор в ионном кристалле, помещенном в электрическое поле. В тепловом поле и положительные, и отрицательные ионы, из которых состоит такой кристалл, под действием разности температур диффундируют от лобовой к тыльной поверхности поры. Кристалл и пора «регулируют» потоки ионов так, чтобы нигде не образовывался избыток зарядов одного знака, поскольку это привело бы к появлению избыточной электростатической энергии.

⁷ Подробнее об F-центрах см.: Витовский Н. А., Эланго М. А. Электронные возбуждения и дефекты в кристаллах // Природа. 1985. № 12. С. 49—57.

Последовательные стадии эволюции сложного включения (полость, заполненная водным раствором KCl, в котором расположен вольфрамовый шарик в кристалле KCl). Образец помещался в центрифугу, где создавалось ускорение, в 25 000 раз превосходящее ускорение силы тяжести. Из-за разной плотности раствора и вольфрамового шарика они двигались в противоположных направлениях и отрывались друг от друга. Общая продолжительность опыта 250 ч, увел. 200.



Но эти соображения неприменимы к электрическому полю. В связи с тем, что в этом поле силы, действующие на положительные и отрицательные ионы, направлены в противоположные стороны и подвижности ионов разного знака различны, на лобовой поверхности поры будут накапливаться ионы одного знака, а на тыльной — другого. Внутри поры при этом создается электрическое поле, противодействующее внешнему и препятствующее ее движению. В результате избыточные заряды перераспределяются за счет диффузии по поверхности поры. Итак, в этом случае движение обусловлено двумя диффузионными потоками: объемным, переносящим вещество от лобовой к тыльной поверхности поры, и поверхностным, сглаживающим неоднородность в распределении зарядов на всей поверхности поры.

ЖИДКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ С ГАЗОВЫМИ ПУЗЫРЬКАМИ

Такие включения в различных минералах встречаются довольно часто. Для геолога они — источник уникальной информации о прошлом минерала. Мы же лишь кратко опишем особенности их движения в неоднородном тепловом поле.

Если газовый пузырек достаточно большой, т. е. слой жидкости между ним и кристаллом тонкий, оказывается, что под влиянием разности температур такое включение движется не «к теплу», как обычное жидкое, а «к холоду»! Причина этого странного поведения в следующем. На участке жидкой прослойки, где температура выше, жидкость испаряется сильнее, и раствор вещества кристалла в ней становится пересыщенным. Избыток вещества из раствора осаждается на том же участке. У противоположного участка поверхности включения ситуация обратная: жидкость из пара конденсируется и концентрация раствора по сравнению с равновесной понижается. Следовательно, часть вещества кристалла в этом месте дополнительно перейдет в раствор, чтобы восстановить равновесие. Эти процессы растворения вещества и выпадения его в осадок сопровождаются перетеканием жидкости от холодной части прослойки к горячей, и включение, как нетрудно сообразить, движется «к холоду».

Если объем пузырька значительно меньше объема жидкости, обнаруживается еще большая неожиданность. Пузырек устремится «к холоду», а основная масса жидкости «к теплу», так что включение разор-

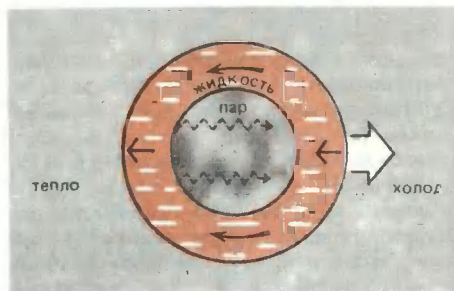


Схема включения с газовым пузырьком. Пунктирные стрелки — направление движения пара в пузырьке; сплошные — вещества в жидкой прослойке; поля — самого включения. Серым фоном изображен кристалл.

вется на два, одно из которых — чисто жидкое, а другое — по-прежнему с газовым пузырьком. Ну, а двигаться после разрыва они будут в противоположных направлениях.

НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

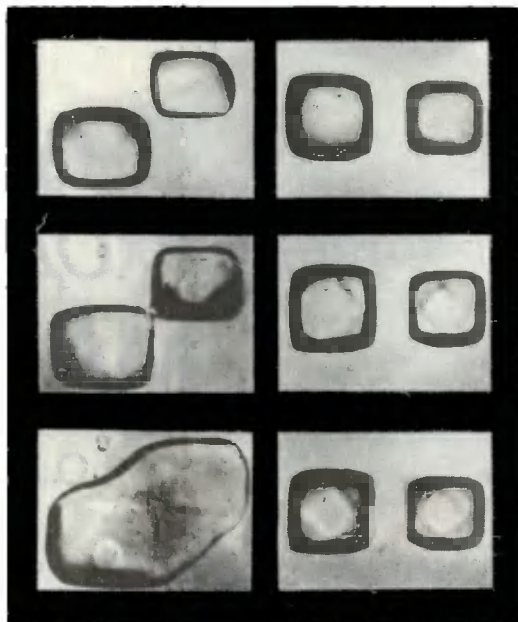
Перемещение включений в поле температур используют в производстве полупроводниковых приборов. На поверхность кристалла наносят слой вещества, которое предстоит внедрить в приповерхностную область. Этому слою придают определенную форму (цилиндр, кольцо, полоса и т. д.), определяемую конструкцией будущего прибора. Слой расплавляют, а затем создают в образце градиент температуры. При этом расплав погружается в объем кристалла, образуя в приповерхностной зоне нужную концентрацию вводимого вещества. Так удается легировать кристаллы, очищать их от примесей, получать слои, содержащие различные комбинации двух и более легирующих компонентов. Конечно, это лишь грубая схема очень перспективного технологического процесса, совершенствованием которого сейчас активно занимаются и ученые, и технологи.

Включения позволяют регулировать и механические свойства металлов или сплавов. Оказывается, можно повысить прочность кристалла, введя в него включения. Они оседают главным образом на дислокациях, которые при деформациях кристалла приходят в движение. Упрочнить сплав — значит воспрепятствовать такому движению. Именно это и «берут на себя» включения, связанные с дислокациями: при деформациях дислокации с осевшими на

них включениями перемещаются гораздо медленнее — в меру подвижности включений. Этим процессом можно управлять, а следовательно, и влиять на механические свойства сплавов.

Движение включений имеет важное значение и в геологии. Как следует из теории, в ионных монокристаллах с жидкими включениями, имеющими форму многогранников, после нагрева вокруг включений возникает поле упругих напряжений, поскольку включения расширяются сильнее, чем кристалл. Распределение напряжений таково, что два включения с расположенными параллельно гранями слабо отталкиваются друг от друга, а те, диагонали которых направлены примерно одинаково, — притягиваются и могут слиться воедино. Физики тщательно исследовали множество образцов естественных монокристаллов NaCl, содержащих жидкие включения, из соляных шахт Донбасса. В результате выяснилось, что пар включений с параллельными гранями гораздо больше, чем пар с диагоналями, лежащими на одной прямой⁸. Этот факт, вероятно, может послужить поводом для размышлений геологов, изучающих историю месторождений соли. Вообще, жидким включениям в минералах геологи уделяют много внимания⁹. Однако при этом обычно совершенно не учитывают возможность их движения, а следовательно, и связанную с ним информацию.

И наконец — несколько слов о роли, которую играет движение включений в столь волнующей всех сегодня проблеме захоронения радиоактивных отходов. Заманчивая идея захоронения контейнеров с радиоактивными отходами в выработанных соляных шахтах наталкивается на неожиданную трудность: распад радиоактивных материалов сопровождается выделением тепла и стенки шахты нагреваются до 300 °C. За счет этого жидкие включения, имеющиеся в кристаллах соли, приходят в движение, направляясь к теплой стенке, и, достигая поверхности, вскрываются, освобождая содержащуюся в них жидкость. В результате воздух в шахте увлажняется, контейнеры корродируют и теряют герметичность. Эта неприятность обсуждается в различных научных журналах — такой «под-



Эволюция пар жидких включений в кристалле NaCl: с диагоналями, направленными вдоль общей прямой (слева), и параллельными гранями (справа). В первом случае включения притягиваются друг к другу и, в конце концов, сливаются, а во втором — слабо отталкиваются между собой. Время наблюдения — 300 ч, $T = 50^\circ\text{C}$, увел. 140.

вох» со стороны жидких включений необходимо срочно устранить¹⁰.

В заключение отметим, что аналогичный процесс приводит к опреснению морского льда, поверхность которого, граничащая с водой, имеет более высокую температуру, чем внутренние области. При этом жидкие включения, обогащенные солью, выходят из льда, опресняя его.

Даже этот, далеко не полный перечень «точек приложения» явления, о котором рассказано в статье, заставляет признать, что оно заслуживает самого серьезного к себе отношения и дальнейшего всестороннего изучения.

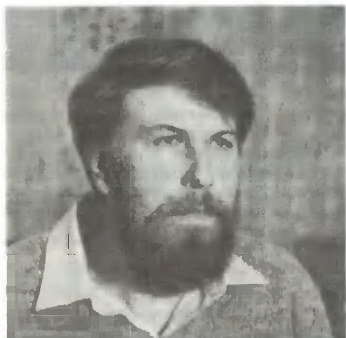
¹⁰ См., напр.: Anthoni T. R., Cline H. E. // Acta Met. 1972. Vol. 20. № 2. P. 247—255; Pigford T. H. // Nucl. Techn. 1982. Vol. 56. № 1. P. 93—96.

⁸ Гегузин Я. Е., Дзюба А. С. // Кристаллография. 1973. Т. 18. С. 1053—1056.

⁹ Ермаков Н. П. Термобарогеохимия минералов Земли и космоса // Природа. 1980. № 5. С. 56—65.

СТРУКТУРА переходной зоны МАНТИИ

О.Л.Кусков



Олег Львович Кусков, доктор химических наук, старший научный сотрудник Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР. Занимается проблемами планетохимии. Автор многих работ в этой области, в том числе монографии: Термодинамика и геохимия ядра и мантии Земли (совместно с Н. И. Хитаровым). М., 1982.

Как получить представление о строении и составе земных недр? Наиболее «прямой» путь предложил еще Жюль Верн в своей замечательной книге «Путешествие к центру Земли», по существу выдвинувший идею бурения сверхглубоких скважин. Как мы сейчас знаем, эта идея уже воплощена в жизнь: Кольская скважина пробурена примерно на 12 км, но это лишь «слабый укол» для земного шара радиусом в 6370 км. Поэтому приходится использовать, может быть, не столь радикальные, но более доступные средства для получения информации о веществе Земли.

Сегодня мы можем заглянуть в глубь планеты с помощью сейсмических наблюдений, исследуя минералы в лабораторных условиях, имитирующих условия далеких глубин, а также с помощью появившегося в последнее десятилетие физико-химического моделирования. Дополняя друг друга, эти три метода дают нам возможность представить пусть пока не полную картину тех превращений, которые обуславливают вертикальную и горизонтальную неоднородность глубоких недр.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ

В 1897 г. английский геофизик Р. Д. Олдгем, исследуя волны, возникающие при землетрясениях, установил, что по их записи можно не только определять координаты источника землетрясения, но и получать общую информацию об упругих свойствах вещества планеты. Это открытие стало новым мощным средством для проникновения в недра планеты и знаменовало по существу революцию в науках о Земле. Любопытно, что зарождение сейсмологии совпадает с четырьмя «золотыми» годами (1895—1898), ознаменовавшими начало новой эры в физике: с открытием рентгеновских лучей, радиоактивности, электрона и радия.

Последующие сейсмические наблюдения, основанные на данных о скорости распространения упругих (продольных и поперечных) волн, показали, что Земля состоит

из трех основных оболочек: ядра, мантии и коры. В год сильнейшего землетрясения в Сан-Франциско (1906) Олдгем представил первое доказательство, что наша планета имеет центральное ядро. В 1914 г. Б. Гутенберг (Германия) определил глубину границы между мантией и ядром, составляющую 2900 км, а для среднего радиуса земного ядра получил значение 3470 км. Эти оценки выдержали испытание временем. Начало сейсмологической эры ознаменовалось еще одним открытием. Югославский геофизик А. Мохоровичич при изучении сейсмограмм землетрясения 1909 г. обнаружил резкую границу, отделяющую породы коры от лежащей ниже мантии. Современное значение средней глубины залегания границы Мохоровичича — около 30 км. Таким образом, располагающаяся в интервале глубин 30—2900 км мантия Земли ограждена сверху и снизу двумя резкими сейсмическими разделами, или границами, на которых физические свойства вещества земных недр меняются скачком.

Появление сейсмических методов с более высокой разрешающей способностью позволило уточнить распределение скоростей упругих волн и плотности уже в самой мантии. Оказалось, что в ней существуют еще две резкие сейсмические границы. Первая выявлена на глубине около 400 км, где давление составляет около 130 кбар. Здесь скорости продольных и поперечных волн увеличиваются на 2,5 и 3,3 %, а плотность на 5 %. Вторая — на глубине около 670 км (давление 240 кбар), где соответствующие характеристики изменяются на 5—7 и 10 %. Ограниченная этими двумя границами от верхней и нижней мантии зона получила название переходной. Этой оболочке мощностью около 300 км отводится особая роль. Было выдвинуто предположение, что необычный (аномальный) рост скорости сейсмических волн вызван здесь химическими и фазовыми превращениями минералов. Именно они и составляют основной предмет исследования автора этих строк, и о них и пойдет далее речь.

Итак, основным источником знаний о физическом строении земных недр является сейсмология. Но она дает, так сказать, валовую, не привязанную к конкретному материалу информацию. Наполнить современные сейсмологические модели химическим содержанием помогает экспериментальное изучение превращений в минералах и породах при высоких давлениях и температурах.



Схема строения Земли. М — граница Мохоровичича, отделяющая земную кору от мантии, расположенная на глубине около 30 км: I — верхняя мантия, II — переходная зона, III — нижняя мантия (эти же обозначения использованы на остальных рисунках), IV — внешнее ядро, V — внутреннее ядро. Вертикальный масштаб показан условно.

ПРИ СВЕРХВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Метод получения сверхвысоких давлений в принципе основан на действии цилиндра и поршня, но, разумеется, в весьма усовершенствованном виде, с применением новейших технических приспособлений, которые позволяют контролировать температуру и давление сжимаемого вещества.

Изобретение и широкое внедрение в практику многотонных прессов дало возможность в лабораторных условиях изучать процессы, предположительно протекающие в верхней мантии и переходной зоне. Чтобы сжатие приближалось к всестороннему, на вещество действуют не одним, а, например, сразу несколькими поршнями с наковальнями, которые давят с разных сторон по граням тетраэдра или куба. После окончания опыта, снятия давления и понижения температуры образец исследуют оптическим и рентгеновским методами.

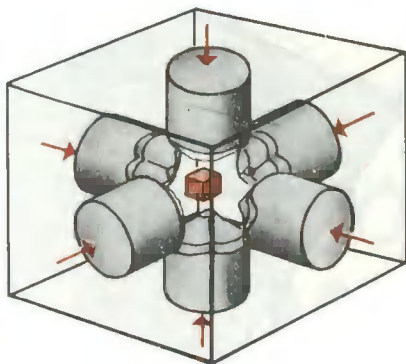


Схема пресса, используемого в экспериментальной петрологии.

В ряде случаев необходимо определить изменения, происходящие в минералах непосредственно под давлением. Здесь наиболее перспективной методикой оказалось изучение дифракции рентгеновских лучей в образце, зажато между двумя алмазными наковальнями. Прозрачные алмазы позволяют, как в окно, наблюдать за изменениями в образце в процессе его сжатия¹. Эксперименты, проведенные с помощью таких методов, позволили установить некую последовательность в расположении и чередовании минеральных ассоциаций в зависимости от температуры, давления и химического состава.

По ряду важных признаков, мантия Земли сложена неорганическими соединениями, главным образом силикатами и окислами. При температурах и давлениях, типичных для переходной зоны, все минералы находятся в твердой фазе и характеризуются определенными кристаллическими структурами. Есть основание считать, что только пять окислов, образующих породы, SiO_2 , MgO , FeO , Al_2O_3 , CaO , составляют 98—99 % всего мантийного вещества. Пять окислов, смешанных в различных пропорциях и комбинациях, могут образовать огромное число самых разнообразных минералов, что и наблюдается в природе. При этом разные минералы могут иметь одну и ту же химическую форму-

лу. Так, у кварца, существующего на поверхности Земли, и двух минералов переходной зоны — коэзита и стишовита — формула SiO_2 . Такие минералы называют полиморфными модификациями (см. табл.).

В рамках этой пятикомпонентной системы существует несколько десятков фаз низкого и высокого давления. Если пренебречь деталями на глубинах порядка 300—400 км, состав основных породообразующих и преобладающих в верхней мантии минералов, таких как оливин и пироксен, можно описать суммой двух окислов — периклаза (MgO) и кремнезема (SiO_2).

Поиски фазовых превращений под действием высокого давления в силикатах магния привели к открытию новых фаз высокого давления, существующих в переходной зоне. А началось все с экспериментов на германатах — минералах, которые в кристаллохимическом отношении подобны силикатам, что впервые было отмечено в классических работах норвежского геохимика В. М. Гольдшмидта. Поскольку радиус катиона Ge^{4+} несколько больше радиуса Si^{4+} , фазовые переходы в «рыхлых» германатах происходят при более низких давлениях, чем в силикатах. По этой причине на раннем этапе развития экспериментальной техники они стали аналогами силикатов при изучении фазовых переходов. На основе экстраполяции этих данных английский ученый Дж. Берналл высказал предположение о возможной трансформации в мантии земли α -оливина в плотную модификацию со структурой шпинели. По его мнению, именно с этой трансформацией связан аномальный рост скорости распространения сейсмических волн в интервале глубин переходной зоны.

В результате интенсивной работы австралийские и японские исследователи, наконец, обнаружили фазовые переходы в твердых растворах оливина и в форстерите². Первый переход α -оливина в β -шпинель происходит при температуре 1000 °C и давлении 140 кбар и сопровождается изменением плотности на 6 %. Последующее превращение в шпинели (β - γ) происходит при 1000 °C и 165 кбар, а плотность увеличивается еще на 1 %. Оказалось, что давление перехода α -оливина в β -шпинель очень хорошо совпадает с давлением на глубине 400 км. Поэтому есть основание считать этот переход ответственным за гра-

¹ Совсем недавно появилось сообщение, что в геофизической лаборатории Института Карнеги (США) при эксперименте достигнуто давление 2,8 Мбар, почти соответствующее давлению в центре Земли (Carnegie Inst. of Washington. 1984. Vol. 83. P. 77).

² Рингвуд А. Е. Состав и петрология мантии Земли. М., 1981.

Минералы переходной зоны

Формула минерала	Название	Формула минерала	Название
SiO ₂	коэсит	MgSiO ₃	энстатит (пироксен)
SiO ₂	стишовит	MgSiO ₃	структура ильменита
MgO	периклаз	MgSiO ₃	структура перовскита
FeO	вюстит	FeSiO ₃	ферросилит (пироксен)
Al ₂ O ₃	корунд	MgAl ₂ O ₄	шпинель
Mg ₂ SiO ₄	форстерит (α -оливин)		
Mg ₃ SiO ₈	β -шпинель	CaSiO ₃	волластонит-II
Mg ₂ SiO ₄	γ -шпинель	CaSiO ₃	структура перовскита
Fe ₂ SiO ₄	фаялит (α -оливин)	Ca ₂ SiO ₄	ларнит
Fe ₂ SiO ₄	γ -шпинель	Mg ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	пироп (гранат)
Al ₂ SiO ₅	кианит	Ca ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	гроссуляр
CaMgSi ₂ O ₆	диопсид		(гранат)

ницу раздела между верхней мантией и переходным слоем. Таким образом, гипотеза Берналла была подтверждена экспериментами.

Естественно было предположить, что и второй сейсмический раздел на глубине около 670 км может быть вызван дальнейшим фазовым переходом. Но несмотря на многочисленные попытки более плотных структур, чем шпинелевая, обнаружено не было. Однако еще задолго до этих экспериментов геофизики В. А. Магницкий (СССР) и Ф. Берч (США) выдвинули предположение о возможности химического разложения шпинели на смесь окислов: периклаз и стишовит. Эта гипотеза вскоре была подтверждена опытным путем.

Триумф экспериментальной петрологии был достигнут в результате усилий австралийца Л. Лиу, который с помощью алмазных наковален с зажатым между ними образцом энстатита получил прямые доказательства его перехода в более плотные структуры (фазы) — ильменит и перовскит — в интервале давлений 150—300 кбар и температур 1000—1400 °С.

Таким образом, эксперимент поставляет крайне важную информацию о свойствах и структуре минералов, не встречающихся на земной поверхности. Однако при проведении даже серии длительных опытов удается зафиксировать параметры только одного химического или фазового превращения. Задача же заключается в том, чтобы охватить все многообразие химических превращений, протекающих в глубоких недрах планет. Нельзя забывать также и об огромной стоимости таких экспериментов, достигающей десятков и сотен тысяч рублей, и о времени, требующемся на постановку и проведение опытов.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Физико-химическое моделирование дает возможность исследователю «экспериментировать» со сложными минеральными системами (в тех случаях, когда на реальном объекте это сделать трудно) и изучать природные процессы, протекание которых в мантии Земли непосредственно наблюдать невозможно. Для моделирования необходимо поставить вычислительный эксперимент, имитирующий условия громадных температур и давлений, господствующих в оболочках планет.

Для расчета температуры и давления химических и фазовых превращений и состава минеральных ассоциаций требуется знание термических уравнений состояния всех фаз изучаемой системы. В геофизической литературе широкое распространение получили методы построения уравнения состояния, основанные на использовании определенного вида потенциала межатомного взаимодействия³. Метод потенциала был положен в основу дальнейших геохимических построений. Правда, для решения задач физико-химического моделирования минерального состава мантии пришлось разработать специальную версию метода, основанную на использовании термодинамических констант минералов при нормальных условиях (1 бар, 25 °С)⁴.

Информационную основу геохимических расчетов составляют стандартные

³ Жарков В. Н., Калинин В. А. Уравнение состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. М., 1968.

⁴ Кусков О. Л., Галимзянов Р. Ф. // Геохимия. 1982. № 8. С. 1172—1180.

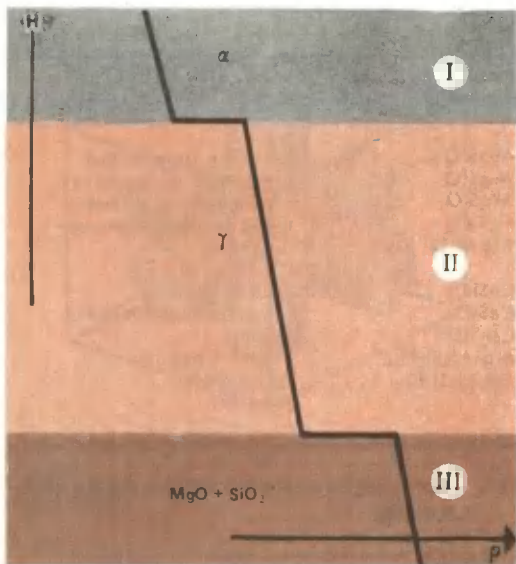
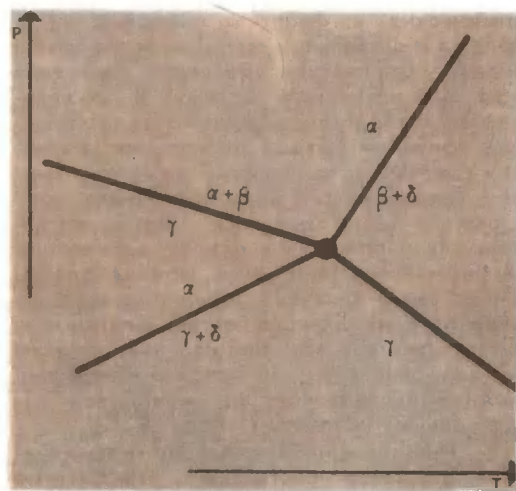


Схема минерального состава и внутреннего строения гипотетической планеты, сложенной простейшим силикатом — α -оливином. С ростом глубины (H) α -оливин переходит в γ -шпинель, а затем в периклаз (MgO) и стивенит (SiO_2). Эти превращения сопровождаются скачкообразным изменением плотности (ρ) на глубинах порядка 400 и 670 км, в то время как в области устойчивости минерала или минеральной ассоциации плотность плавно нарастает с глубиной (черная линия). Примерно такими были представления о составе мантии четверть века назад в «доэкспериментальный» период.



Моновариантные кривые, разграничивающие области химических и фазовых преобразований в минералах мантии, в окрестности неинвариантной точки. В этой особой точке существует максимальное число находящихся в равновесии минеральных фаз. α , β , γ , δ — условные минералы.

термодинамические функции минералов (свободная энергия, энтальпия, энтропия), их уравнения состояния, а также параметры экспериментально исследованных равновесий.

Теперь, когда имеется необходимая для дальнейших расчетов исходная информация, можно перейти непосредственно к решению стоящих перед нами задач. Их две — прямая и обратная.

Прямая задача в данном случае — моделирование минерального состава переходной зоны мантии Земли. Но предварительно надо задать модель химического состава Земли. Поскольку мы не можем включить в нее всю Периодическую систему Менделеева, то приходится ограничиваться некоторой комбинацией наиболее распространенных элементов или их окислов. Затем по известным математическим процедурам с помощью быстродействующих ЭВМ, обладающих большим объемом памяти, вычисляют все необходимые термодинамические свойства минералов и минеральных равновесий. Отсюда можно узнать, какие минералы и в каком количестве устойчиво существуют во всей трехсоткилометровой толще переходной зоны. В итоге получаем фазовую диаграмму минеральной системы в интересующей нас области земного шара.

Теперь, когда известны распределение минералов в переходной зоне по глубине и их уравнения состояния, можно перейти к решению обратной задачи — построению профилей плотности, а значит и скорости распространения упругих волн внутри планеты. Если при определенных температуре и давлении происходит смена одной минеральной ассоциации другой, то упругие характеристики мантийного вещества меняются скачком, а наиболее резкие из них фиксируются сейсмическими методами. Это второй, независимый от сейсмологии, путь, ведущий к познанию строения недр. Фазовые диаграммы позволяют также выявить роль химических источников энергии (выделение или поглощение тепла при протекании реакций) и благодаря этому узнать, как меняется температура в переходной зоне. С петролого-геофизической точки зрения, этот путь приводит к созданию так называемых геотермобарометров, предсказанию новых сейсмических границ в мантии и определению их протяженности и резкости.

Окончательный результат решения прямой и обратной задачи — построение стандартной термодинамической моде-

ли минерального состава и внутреннего строения планетных тел. Ее адекватность реальному планетному телу определяется совокупностью принятых ограничений. Очевидно поэтому, что тернистый путь к построению стандартной термодинамической модели проходит через промежуточный набор моделей, которые можно назвать идеализованными, или квазиреальными, близкими к реальным и т. д.

Проведенный нами вычислительный эксперимент позволил построить наиболее достоверную на сегодняшний день картину всей совокупности фазовых равновесий. Оказывается, что полная фазовая диаграмма простейшей и в то же время наиболее представительной для мантии системы $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ состоит из множества кривых, отображающих различные физико-химические превращения между минералами при давлениях переходной зоны.

Еще более точная информация о поведении вещества в планетных недрах может быть получена добавлением к системе $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ трех следующих по важности в минералогии мантии окислов: FeO , Al_2O_3 , CaO , весовая концентрация которых составляет примерно 15 %. Фазовые диаграммы пятикомпонентной системы уже в достаточно полном объеме дают представление о протяженных полях устойчивости минеральных ассоциаций и о природе разделяющих их резких границ.

Становится ясно, что в достаточно узком для Земли переходном слое (толщиной менее 300 км) сосредоточено большое число различных химических и фазовых превращений. Их общей и наиболее важной чертой является разложение плотноупакованных минералов, таких как шпинель, диопсид, пирокс, гроссуляр и другие, на еще более плотные образования, состоящие из минералов в структурах граната, ильменита, перовскита и окислов. Эти превращения сопровождаются увеличением плотности. И здесь хотелось бы еще раз остановиться на одном из главных «инструментов» наших исследований — фазовых диаграммах и их топологии.

ТОПОЛОГИЯ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ

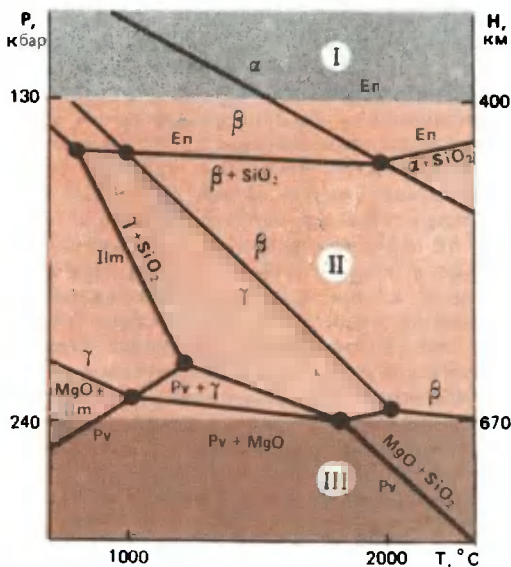
В геохимии под этим термином понимают изображение на чертеже наиболее общих физико-химических свойств системы, отображающих главные особенности минеральных преобразований в веществе мантии. Другими словами, это устойчивая карта фазовых соотношений в координатах температура — давление. Густая сетка

пересекающихся лучей (или моновариантных кривых) химических реакций разграничивает поля устойчивости минеральных ассоциаций и позволяет выделить точки их пересечения — неинвариантные точки, в которых равновесно сосуществует максимальное количество фаз. Чем плотнее сетка, тем точнее «карта» и тем детальнее картина структуры изучаемого объекта. В отличие от географических карт, приложимых только к конкретной местности, ориентирование с помощью фазовых диаграмм можно проводить в недрах любых планетных тел, находящихся на разных стадиях термической эволюции (родительских тел метеоритов, планетезималей, планет земной группы — разумеется, с учетом распределения в них температуры, давления и специфики химического состава).

Воспользуемся, например, одним из наших рисунков, на котором приведена «карта» фазовых соотношений для ориентирования в недрах переходной зоны, и проследим за изменением минерального состава, двигаясь от верхней мантии к нижней через переходный слой.

Будем считать, что порода верхней мантии — пиролитовая, т. е. состоит из ассоциации оливина и пироксена (система $\text{MgO} - \text{SiO}_2$). При давлении 130 кбар, соответствующем глубине залегания границы между верхней мантией и переходной зоной (400 км), происходит фазовый переход α -оливина в β -шпинель, сопровождающийся скачком плотности, равным 6 %. На глубинах примерно 480 км начинается разложение пироксена на стишовит и β -шпинель (скачок плотности равен 10 %). Последняя на глубине 570 км преобразуется в структуру γ -шпинели. Скачок плотности здесь очень мал и составляет всего 1 %, вследствие чего этот переход не наблюдается сейсмическими методами. На глубинах 650—700 км, отделяющих переходную зону от нижней мантии, при температуре 1700 °C идут сразу два химических превращения: γ -шпинели и стишовита в перовскит и γ -шпинели в перовскит и периклаз. Другими словами, идет преобразование шпинели в более плотные модификации. Обе реакции протекают в узком интервале давлений (0,5 кбар) и сопровождаются резким увеличением плотности на 8—10 %.

Выделяя в простейшей для петрологии мантии системе $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ ряд химических и фазовых превращений, можно убедиться, что их положение на фазовой диаграмме очень близко соответствует расположению двух основных сейсми-

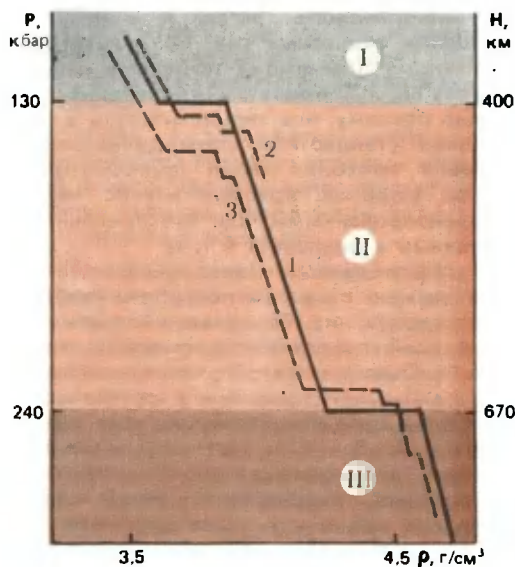


Разрез мантии и фазовая диаграмма системы $\text{MgO}-\text{SiO}_2$. На линиях, разделяющих области устойчивости определенных минеральных ассоциаций, происходит превращение фазы с низкой плотностью в фазу (фазы) с более высокой плотностью. Верхняя мантия сложена α -оливином (α) и энстатитом (En). Превращение α -оливины в β -шпинель (β) может служить объяснением природы первого сейсмического раздела на глубине около 400 км. В переходной зоне происходит дальнейшая трансформация β -шпинели в γ -шпинель (γ). В нижней мантии γ -шпинель неустойчива, поскольку в зависимости от температуры она распадается на ассоциацию ильменита (Ilm) и периклаза (MgO), перовскита (Pv) и периклаза или периклаза и стшовита (SiO_2). С последними реакциями может быть связано объяснение природы второй сейсмической границы на глубине 670 км.

ческих границ в мантии на глубинах около 400 и 670 км. А сама переходная зона мантии как бы «зажата» по давлению (или глубине) между фазовым превращением оливина в β -шпинель и химической реакцией разложения γ -шпинели на перовскит и периклаз. Есть все основания поэтому отождествлять эти выявленные независимо (сейсмическим и физико-химическим методами) границы.

По-видимому, можно только сожалеть, что несравненно более общая методология физико-химического моделирования запоздала в своем развитии и лишь подтвердила (правда, на новом качественном уровне) блестящие предсказания сейсмологии. Но есть и «утешительные» моменты.

Так, во-первых, фазовая диаграмма позволяет заглянуть в прошлое (и будущее) Земли и предположить, какие превращения и на какой глубине протекали на ран-



Распределение плотности ρ в зависимости от давления P в мантии. 1 сейсмический профиль по модели Дзевонского А. М., Андерсона Д. Л., 1981, PREM (Preliminary reference Earth model), согласно которой в мантии существуют два основных сейсмических раздела на глубинах 400 и 670 км. 2, 3 — теоретические профили при разных температурах (2 — при температуре 1200 °C, 3 — при 1700 °C), дополняющие сейсмологические модели.

ней стадии эволюции планеты. Если бы на раннем этапе геологической истории Земли, когда средняя температура мантии была, скажем, ниже, можно было установить сейсмографы, то они бы также зафиксировали вторую сейсмическую границу. Но глубина ее залегания несколько отличалась бы от современной, а ее природа соответствовала бы превращению γ -шпинели в ильменит и периклаз. Была бы выявлена и третья сейсмическая граница, отвечающая превращению ильменита в перовскит со скачком плотности, равным 6 %.

При разогреве Земли до температур, превышающих современные, на глубине 650—700 км, возможно, будет происходить разложение шпинелевой модификации до смеси окислов, которая с ростом давления опять-таки преобразуется в перовскит, т. е. на любой стадии термической эволюции Земли ассоциация перовскита и периклаза остается доминирующей среди минералов нижней мантии.

А во-вторых, изучение фазовых соотношений в сложной пятикомпонентной системе $\text{MgO}-\text{FeO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ показывает, что на глубинах 400—

700 км сосредоточено уже значительно большее число химических превращений, которые вносят дополнительные уточнения в модель минеральной структуры переходной зоны⁵. Связанные с ними сейсмические неоднородности в мантии могут быть предсказаны заранее.

Так, при анализе плотностного профиля мантии пиrolитового состава, рассчитанного на основе термодинамической информации, уже выявляется целый ряд превращений, имеющих сравнительно малые скачки плотности, пока не фиксируемые сейсмическими методами⁶.

И еще один вывод, вытекающий из фазовых диаграмм: все химические превращения, возможные в рамках рассмотренных систем, завершаются до глубин 700 км (примерно 250 кбар) — с ростом давления происходит упрощение минерального состава мантии. Таким образом, нижняя мантия в химическом, а следовательно, и в сейсмическом отношении по существу мертва. Эту точку зрения подтверждают сейсмологические наблюдения, согласно которым в нижней мантии землетрясения не происходят.

Итак, граница между переходной зоной и нижней мантией является особенной как в геохимическом, так и в геофизическом отношениях. Но, как ни странно, ее положение по глубине точно не установлено. Существующие оценки охватывают интервал от 640 до 720 км⁷. Причина такой неопределенности может быть связана вовсе не с погрешностью сейсмических экспериментов, а с различиями в минеральной природе мантийного вещества, обусловленными вариациями температурного режима мантии.

Здесь, видимо, нужно объяснить еще одну и, пожалуй, самую замечательную топологическую особенность фазовых диаграмм — невариантные точки, в которых при строго фиксированных температуре и давлении равновесно сосуществует максимальное число минералов⁸. При этом оказывается, что они также группируются вблизи основной сейсмической границы,

отделяющей переходную зону от нижней мантии. Из каждой невариантной точки исходит несколько моновариантных кривых, отвечающих разным химическим реакциям. Эти реакции протекают на разных глубинах — из-за различий в температурном режиме под континентальной и океанической мантией, под зонами срединно-океанических хребтов и островных дуг. Поэтому становятся понятными региональные различия в профилях распределения скоростей упругих волн и глубинах расположения нижней границы переходной зоны мантии (640—720 км), выявляемые сейсмическими методами: они обусловлены вариациями минерального состава.

Весьма вероятно, что крупные сейсмические аномалии в мантии могут быть связаны не только с одним отдельно взятым химическим или фазовым превращением, но и с их совокупностью, отображаемой на фазовой диаграмме в виде невариантной точки. Следовательно, геофизическая граница между переходной зоной и нижней мантией в сущности представляет собой несколько границ разной химической природы.

*

Мы сейчас знаем и очень много и очень мало о строении нашей планеты. Поэтому, заканчивая статью, хотелось бы провести такую аналогию.

При строительстве современного здания сначала закладывается фундамент, появляются крепёжные опоры, возводится каркас и только потом начинается внутренняя отделка помещений, затягивающаяся подчас на долгие времена. Мне кажется, что этот последний отделочный период наступил сейчас и для моделей минерального состава и внутреннего строения мантии Земли. Но поскольку «архитектура» мантии слишком сложна, то основную черту этого периода я вижу в сближении все еще далеко отстоящих геофизических и геохимических позиций и выработке общей точки зрения. Современные методы сейсмической томографии, экспериментальных исследований при высоких давлениях и физико-химического моделирования природных процессов позволяют надеяться, что будет построена общая модель структуры мантии Земли, а по существу неограниченные возможности физико-химического моделирования позволяют уже сейчас создавать прогнозные модели минерального состава, термического состояния и внутреннего строения оболочек планет земной группы и Луны.

⁵ Kuskov O. L., Galimzyanov R. F. // *Advances in Physical Geochemistry*. Vol. 6. N. Y., 1986. P. 310—362.

⁶ Кусков О. Л., Галимзянов Р. Ф., Хитаров Н. И. // Доклады АН СССР. 1983. Т. 270. № 3. С. 577—581.

⁷ Винник Л. П. // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274. № 2. С. 296—300.

⁸ Трускиновский Л. М., Кусков О. Л., Хитаров Н. И. // Доклады АН СССР. 1985. Т. 285. № 1. С. 83—87.

ЭКОЛОГИЯ И ЭТНИЧЕСКИЕ традиции народов Дальнего Востока

Ч. М. Таксами,
доктор исторических наук
Ленинград

В. Д. Косарев
Кишинев



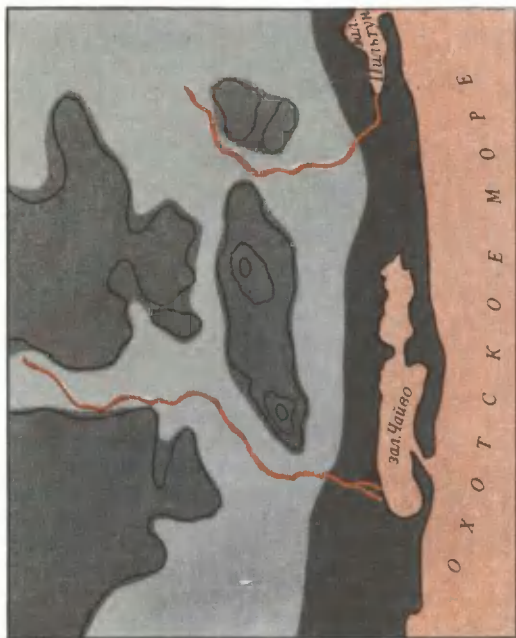
Резная деревянная коробка нивхов.

У аборигенных народов Дальнего Востока — нивхов, нанайцев, ульчей, ороков и др. — исторически сложились устойчивые традиции охраны природы. Не исчезнувшие и поныне, они всегда играли важную регулирующую роль в практике природопользования и хозяйственных занятиях, оказывая заметное воздействие на систему поведения и культуры охотников, собирателей, рыболовов, оленеводов. При этом отчетливо выделяются знания, убеждения, обычаи, нормы, запреты, правила, относящиеся к земле-, лесо- и водопользованию, охоте, морскому зверобойному промыслу, рыболовству и т. д.

Еще участники знаменитой экспедиции Г. И. Невельского в середине прошлого века обратили внимание на строгий запрет «портить» (рыть) землю, бытовавший у народов Нижнего Амура¹. Это древнее табу, сохранившееся у нивхов и ульчей до 20—30-х годов нашего столетия, грозило нарушителям смертью. Оно же затрудняло освоение земледелия. Думается, запрет был вызван тем, что повреждение растительно-почвенного покрова, лежащего на вечной мерзлоте, могло вызвать прогрессирующую эрозию почвы. По этой же причине сахалинские ороки, совершая периодические перекочевки со стадами оленей, ходили немногочисленными, издавна проложенными тропами и избегали прокладывать новые². В ходе полевых работ мы выяснили, что традиционная система выпаса оленей у сахалинских ороков территориальной группы валуннене (Ногликский район) включала четыре сезонных пастбищеоборота: осенний, зимний, весенний и летний, в каждом из которых было не менее четырех пастбищ. В основе такой системы лежала экология и этология северного оленя, который к осени кочевал в сопки, на зимовку спускался в лесотундру, а зимой и летом бродил вдоль побережья. Учитывая весьма ограниченные репродукционные способности кормовой флоры, прежде всего ягеля, ороки ежегодно меняли пастбище, чтобы возвратиться на него только через несколько лет. Для перегона стад ороки пользовались тропами, которые, по их словам, «еще наши деды проложили». Отклоняться от маршрутов возбранялось. Тропы пролегли так, чтобы кочующие олени не потравили места, бога-

¹ Невельской Г. И. Подвиги русских морских офицеров на крайнем востоке России. 1849—1855 гг. Хабаровск, 1969. С. 170—171.

² Васильев Б. А. // Этнография. 1929. Кн. VII. № 1. С. 7.



Район выпаса оленей ороками Сахалина. Сахалинские ороки-оленьеводы выпасали стада на территории современного Ногликского района между заливом Пильтун на севере и заливом Чайво на юге, береговой линией на востоке и водораздельной грядой возвышенностей и сопок на западе.

- Прибрежная тундра
- Лесотундра с таежными участками
- Сопки и возвышенности, частично покрытые таежным редколесьем

тые полезными растениями и не распугали водоплавающую дичь. Экологическая обоснованность таких правил особенно заметна на фоне современного состояния тундровых и лесотундровых пространств, во многих местах существенно испорченных мощной транспортной и землеройной техникой.

Коренное население Приамурья и Сахалина весьма бережно относилось к лесным богатствам, хотя дальневосточная тайга казалась безбрежным морем. Айны, например, отправлялись на заготовку дров не с топорами, а с деревянными баграми, которыми обламывали сухие ветви; на топливо пускали хворост, бурелом, плавник, а деревья рубили только в случае крайней необходимости³. Подобное отношение

к лесу по сей день характерно для сахалинских нивхов и ороков. Эрозия почв, обмеление нерестовых речек, оскудение ягодников, исчезновение дичи и другие, увы, хорошо известные сегодня последствия неконтролируемых (с позиций экологии) лесозаготовок — все это заставляет с уважением и вниманием взглянуть в суть старинных обычаев аборигенов тайги, точно учитывавших комплексную экологическую роль лесной растительности.

Это же относится и к традициям, связанным с использованием воды и ее богатствами. У айнов считалось величайшим грехом загрязнение водоемов. Столь же строго блюли чистоту воды нивхи, ороки, нанайцы.

У дальневосточных народов запрещалось шуметь, громко разговаривать в лесу, на сопках, у реки, близ озер, богатых водоплавающей птицей, плавать на лодках по речкам в период нереста рыбы. Айны применяли сеть только в море. В устьях рек они ловили рыбу закидными неводами, а выше по течению — крючьями, острогами. Полное перегораживание русла сетью и различного рода ловушками резко осуждалось. На сивучей айны шли с гарпунами, отказываясь от использования ружей. Нивхи вплоть до 30-х годов нашего столетия предпочитали огнестрельному оружию традиционные средства охоты, объясняя это тем, что выстрелы распугивают дичь⁴. У них не разрешалось убивать спящих медведей и нерп, поскольку они считали, что поединок со зверем должен проводиться «на равных», иначе это будет равнозначно убийству. В летний период все дальневосточные народы соблюдали запреты на убий оленей, медведей и другой крупной дичи. Но и зимой охотились избирательно, щадя молодняк, оленей-производителей, важенок. К тому же, один стрелок мог добыть только строго определенное количество птицы и зверя.

Всю эту систему запретов можно понять, только если учитывать мировоззрение дальневосточных народов. Они считали, что природа населена многочисленными духами, со своими вождями и сородичами. Так, например, у айнов считалось, что дух, именуемый Хозяином Высоких Сопок, распоряжался медведями, как человек распоряжается собаками. А Морской Хозяин распоряжался лососями. В опреде-

³ Пилсудский Б. О. // Зап. Об-ва изучения Амурского края. 1907. Т. X. С. 91.

⁴ Таксами Ч. М. Основные проблемы этнографии и истории нивхов. Л., 1975. С. 44.



Охотник-удэгейец в традиционной промысловой одежде.

Нивхская лодка-долбленка, сделанная из тополя.





Нивхский орнамент с мотивом морской травы.
Зарисовка Ч. М. Таксами.

ленное время года он посылал их в гости к Хозяину Истоков Реки. По пути лососи «наносили визиты» людям, которые обожествляли их «гонцов»: головы этих «гонцов» украшали ритуальное пиршество. Мясо поедалось, а челюсти выбрасывались в реку: считалось, что лососи продолжают путешествие к Хозяину Истоков Реки.

Ловля рыбы или поимка и отстрел зверя убийством не считались, если при этом были соблюдены все правила промысла — «принятия в гости». Напротив, добытая рыба или зверь расценивались как добровольный дар духов. Но если правила нарушались, виновного ожидала кара: он мог утонуть, заблудиться в тайге и т. д. Стремление избежать кары, которая, считалось, исходит от духов, с одной стороны, и ожидание от них помощи — с другой, служили своеобразным регулятором взаимоотношений с природой. Один из исследователей айнов, японский этнограф Х. Ватанабе, назвал подобные взаимоотношения «системой социальной солидарности между человеком и природой»⁵.

Конечно, обычаи природопользования не исключали осторожного вмешательства человека в ход естественных событий. Считалось необходимым расчищать от бурьяна ягодные уголья и выжигать прошлогоднюю траву, освобождать устья и русла нерестовых рек от бурелома, от обрушившихся камней и дерна, чтобы облегчить проход лососевых в верховьях. Но в то же время не допускалось ни одного действия, которое могло бы резко

изменить количественные и качественные характеристики биоландшафтной среды (вырубки леса, рытье земли, перевыпас ягельников, хищнические способы охоты и рыболовства и т. п.): люди старались оградить природу от возможных деструктивных последствий, и эта их предусмотрительность очень часто совпадает с современными экологическими требованиями.

Откуда же у охотничье-рыболовецких коллективов, находившихся на стадии общинно-родового строя, столь обширный и глубокий экологический опыт? Каким образом и когда традиционные этносы научились искусству сосуществования с природным окружением, которое дает основание называть их «естественными экологами»? Вопросы эти далеко не второстепенные. Высказывают самые разные точки зрения на характер взаимоотношений древнего человека с биосферой. В. Р. Кабо свел их к трем типичным, «априорным», моделям: гармония сосуществования с природой, оборонческая позиция человека и пассивно-приспособленческая линия поведения вплоть до паразитизма⁶. Нам бы хотелось лишь добавить, что для выяснения модели взаимоотношений человека и окружающей среды важно уточнять всякий раз географические и историко-стадиальные координаты.

Бережное отношение к природному окружению, или экофильное поведение, вряд ли изначально было присуще человеку как биологическому виду. Эти качества он никак не мог унаследовать от животных предков. Ведь равновесие экосистем обеспечивается не поведением отдельных особей или популяций, а сложными связями и взаимодействием видов и природной среды.

На самых ранних ступенях развития людям требовалось крайнее напряжение сил, чтобы вырвать у окружающего их мира средства к существованию. Поэтому о сохранении природного равновесия еще не могло быть и речи. Экологический опыт накапливался постепенно, ценой проб и ошибок. Скорее всего, традиционно-экофильному отношению к окружающей среде предшествовал длительный период, когда преобладали близкие животному миру линии поведения: пассивно-приспособительные и активно-разрушительные. Последняя модель вероятна для верхнего

⁵ Watanabe H. The Ainu ecosystem. Environment and Group Structure. Seattle and London, 1973. P. 69.

⁶ См.: Кабо В. Р. Первобытное общество и природа // Общество и природа. Исторические этапы и формы взаимодействия. М., 1981. С. 150—155.

палеолита, так как уже тогда имел место экологический кризис, охвативший огромные пространства и поставивший под угрозу существование человеческого общества⁷. Был ли в этом кризисе полностью виноват человек, истребивший крупных млекопитающих, или его деятельность лишь усугубила ситуацию — вопрос спорный. Не вызывает, однако, сомнения то, что люди столкнулись — и, видимо, впервые — с масштабной экологической проблемой.

Выходом из кризиса, возможно, стала «неолитическая революция», когда присваивающая экономика сменилась производящей. Но это произошло далеко не всюду. По преимуществу на присваивающей стадии экономики до недавнего времени находились многие этносы Дальнего Востока — в недрах их хозяйства развивались и производящие отрасли (собаководство, оленеводство), но они не стали ведущими. А если это так, каким образом охотники, рыболовы и собиратели Дальнего Востока вышли из кризиса эпохи верхнего палеолита? Видимо, их путь был иным. В области технологии это означало, как известно, изобретение более совершенных орудий, позволивших перейти от узко специализированной промысловой деятельности к комплексному охотничье-рыболовецко-собираческому хозяйству. Одновременно обогащались знания о природных связях, складывался экологический опыт, позволивший в конце концов добиться сбалансированного природопользования.

Говоря о традициях, в частности об экофильных, принято различать их объективную сторону и идеологическое обоснование. Для охотников, собирателей и рыболовов естественные угодья, по сути, являлись такой же материальной базой, как для современного агроиндустриального общества фабрики, заводы, фермы, плантации, животноводческие комплексы и т. п. Аборигены Дальнего Востока должны были адаптироваться к географической среде региона, характеризующейся суровым климатом и легко ранимыми, но трудно восстанавливающимися экосистемами. От благополучия биосферы прямо зависела как хозяйственная жизнь, так и социальное и культурное развитие традиционных коллективов. Все это жестко диктовало экофильную линию поведения.

Но для освоения такой линии и закрепления ее в этническом сознании тре-

бовались эффективные идеологические рычаги. В бесклассовых обществах прошлого такими рычагами были религия и общинные традиции.

Мировоззрение и общинно-родовой уклад активно настраивали на охрану природы. По традиционным воззрениям нивхов, окружающая природа представляет собой большой дом — место, где обитает род. А обычаи родовой собственности предписывали как бережное отношение к угодьям своего рода, так и неприкосновенность угодий соседнего⁸. Таким образом, где бы ни находился охотник, рыболов, зверобой, он должен был в равной степени уважать и беречь природу — родовую принадлежность, тем более что любой ее элемент рассматривался как живое, мыслящее и действующее существо, а природные системы (лес, река, озеро, море) — как родовые жилища существ, равноправных человеку. Наконец, всякая обида окружающему миру грозила карой многочисленных «хозяев» — духов тайги, сопки, моря и т. п., организованных также по родовому принципу.

Эта основополагающая идея всемерного уважения окружающей природы отражена в мифологии и фольклоре. У дальневосточных этносов зафиксировано немало природоохранных мифов и преданий. В одном из них, принадлежащем айнам, повествуется о том, как люди лишились крыльев за то, что истребляли слишком много зверя и птицы.

В наше время * очень важно подвергнуть учету и анализу те резервы, которые могут оказаться полезными человечеству в его стремлении предотвратить экологический кризис, ибо известно, что во многих случаях новое — это хорошо забытое старое. Сегодня, например, становится ясно, что современные технологии, прекрасно зарекомендовавшие себя в регионах давней хозяйственной освоенности, порой оказываются отнюдь не безупречными в периферийных зонах с экстремальными природно-климатическими условиями. При внедрении здесь технических и технологических новшеств, разработанных в иных этноэкологических зонах, необходимо, в частности, принимать во внимание традиционный опыт и уклад коренных народов. Это поможет избежать многих осложнений в экологическом, социальном и этническом планах.

⁷ Будыко М. И. Глобальная экология. М., 1977. С. 230—252.

⁸ См.: Крейнович Е. А. Нивхы. Загадочные обитатели Сахалина и Амура. М., 1973. С. 129; Таксами Ч. М. Ук. соч. С. 27, 45.

Океанские экспедиции и ТЕКТОНИКА ЗЕМЛИ

Ю.М.Пуцаровский

Каждое лето в горы и на равнины нашей огромной страны отправляется множество геологических экспедиций. И это давно уже всеми воспринимается как привычное, в общем рядовое мероприятие. Не так обстоит дело с экспедициями в океаны. Хотя число их постепенно увеличивается, каждая такая экспедиция пока выглядит как некое событие, и это не только потому, что морских экспедиций в общем еще немного, но прежде всего потому, что сегодня океан — это широкое поле для геологических открытий. Необычность экспедициям придает также водная стихия, где нужны особые методы геологической работы.

Разные страны организуют экспедиции в океаны на свой манер. Советские геологические экспедиции занимают обычно 3,5 месяца, редко два или четыре. Большие сроки не только увеличивают стоимость экспедиций, и без того значительную, но и снижают эффективность работы: качка, иногда дефицит пресной воды, замкнутое пространство утомляют людей.

Изучению доступны все акватории Мирового океана, кроме 200-мильных зон вокруг суши. Нужно, однако, сказать, что эти зоны иногда имеют очень важное значение для решения научных задач и поэтому такое ограничение не на пользу исследователям. В особенности это касается окраинных морей, необычайно интересных научных объектов, по периферии и внутри которых часто расположены обычно небольшие острова, кому-то принадлежащие.

В распоряжении Академии наук СССР имеются научно-исследовательские суда разных классов. Основную информацию приносят суда водоизмещением 2—2,5 и 6—6,5 тыс. т, на которых научный персонал составляет соответственно 25 и 70 человек. В некоторых экспедициях применяются погружающиеся на дно подводные аппараты, обитаемые и необитаемые. В США, кроме этих средств, используют буровые суда. В течение 15 лет бурение океанического дна проводили с судна «Гломар Челленджер». В 1984 г. его сменил более крупный ко-



Юрий Михайлович Пуцаровский, академик, заведующий лабораторией тектоники приокеанических зон Геологического института АН СССР, председатель Межведомственного тектонического комитета, председатель секции геологии, геофизики и геохимии Комиссии АН СССР по проблемам Мирового океана. Специалист в области общей и региональной тектоники, геологии океана. Лауреат Государственной премии СССР. Заместитель главного редактора журнала «Природа». В декабре этого года Ю. М. Пуцаровскому исполняется 70 лет. Редакция и редакционная коллегия журнала поздравляют Юрия Михайловича с юбилеем, желают ему доброго здоровья и новых успехов в научной деятельности и в пропаганде достижений современной науки.

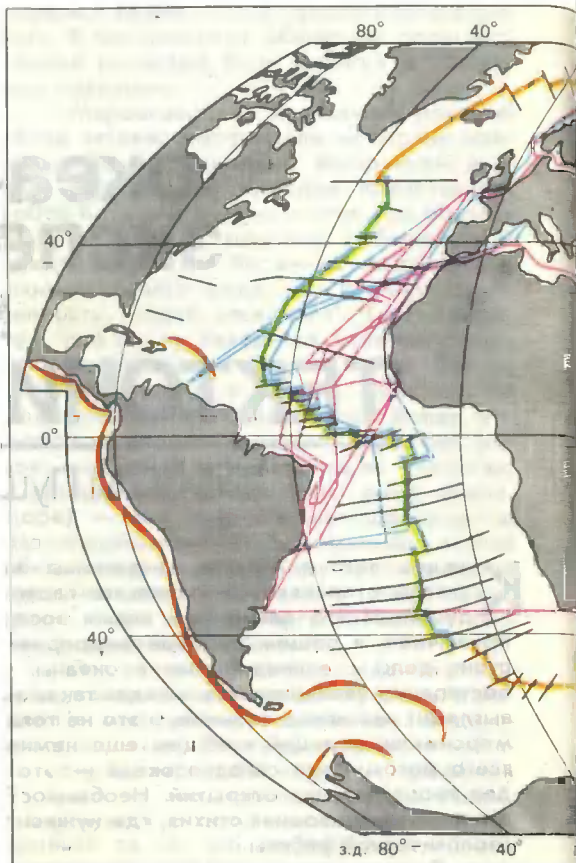
Мировая рифтовая система — крупнейшее тектоническое образование в океанах, простирающееся на 60 тыс. км. Наиболее древние рифты возникли в мезозое и находятся в Атлантике, наиболее молодые, позднелайнозойские, — в Калифорнийском заливе и Красном море. Основная часть системы в Тихом и Индийском океанах, а также в Арктической Атлантике и Северном ледовитом океане образовалась в конце мезозоя и начале кайнозоя — около 65 млн лет назад. Подводные вулканические зоны в западной части Тихого океана делят дно на участки разной глубины (6000 м — на севере, 5000 м — между вулканическими зонами, 4000 м — на юге). Цифрами обозначены разломы: 1 — Мендосино, 2 — Пайонир, 3 — Молокан, 4 — Клиппертон, 5 — Клармон, 6 — Элтанни.

Рифтовые зоны:

-  мелового и более древнего возраста
-  образовавшиеся на рубеже мезозоя и кайнозоя
-  кайнозойские
-  Разломы
-  Глубоководные желоба
-  Подводные вулканические зоны

Маршруты морских геолого-геофизических экспедиций АН СССР:

-  1984 г.
-  1985 г.



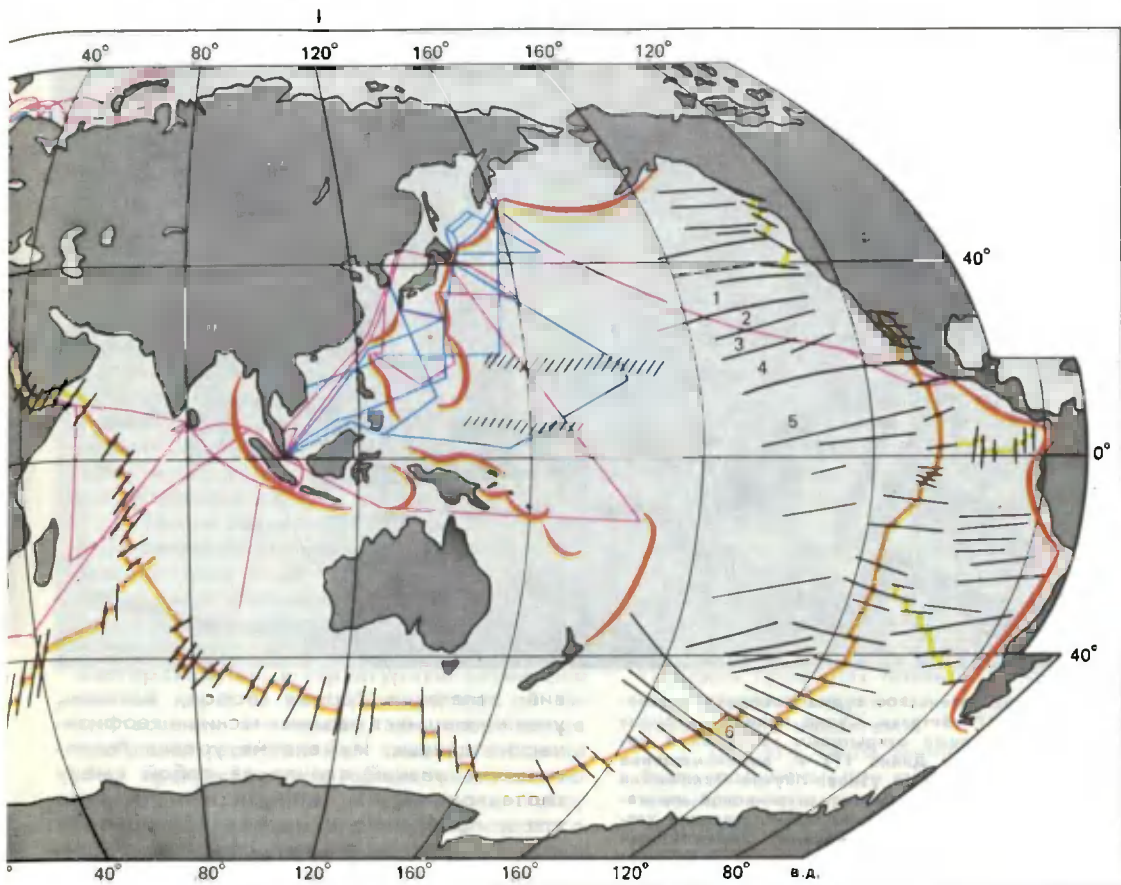
рабль «ДЖОЙДЕС Резолюшн». Большинство буровых материалов получено международными экспедициями, организованными на основе финансовой кооперации нескольких стран. Как известно, Советский Союз был одним из участников международного проекта глубоководного бурения, сокращенно именуемого IPOD (International Project of Oceanic Drilling).

ЭКСПЕДИЦИИ И НАУЧНЫЕ КОНЦЕПЦИИ

Интересная научная концепция освещает путь экспедиции. Но, конечно, она не должна сковывать экспедиционный поиск. Самая неприемлемая для исследователя формула — «если факты не укладываются в концепцию, тем хуже для фактов».

Сейчас за рубежом пользуется популярностью концепция тектоники литосферных плит. Она имеет сторонников и в нашей стране. Те, кто особенно ей привержен, называют ее теорией, другие — научной

гипотезой. Но суть не в этом. Важно другое: в эту концепцию вписывается целый ряд существенных геологических явлений, отмечаемых в океанических областях. Например, это относится к такому явлению, как постепенное увеличение возраста осадков и базальтов океанического дна по направлению от срединных хребтов к окраинам океанов. Другое явление — это спрединг в срединно-океанических хребтах, т. е. раздвижение в обе стороны от оси хребтов расколовшейся земной коры. Через такие расколы на поверхность дна поступают громадные массы базальтовых лав. Если увеличение возраста отложений в стороны от срединных хребтов подтверждено данными бурения уже в процессе развития концепции тектоники плит, то спрединг был выявлен еще в начале 60-х годов, т. е. за несколько лет до появления этой концепции. Имеются и другие явления, хорошо «вписывающиеся» в тектонику плит. В частности, это относится к полосовым магнитным аномалиям, простирающимся параллельно оси срединных



Тектонические покровы на Памире (по С. В. Руженцеву), иллюстрирующие тектоническую расчлененность земной коры и сжатие масс.

- Древние кристаллические толщи
- Вендско-палеозойские терригенно-карбонатные толщи
- Каменноугольные лавы и туфогенные породы

- Верхнепалеозойские—раннемезозойские осадочные и вулканогенные толщи
- Позднемаеловые—палеогеновые известняки, андезиты и туфы
- Мезозойско-кайнозойские отложения
- Мезозойско-кайнозойские гранитоиды
- Разломы
- Складки



Научно-исследовательское судно Института океанологии АН СССР «Витязь». Судно пришло на смену знаменитому своим открытиям «Витязю» и построено в 1981 г. Длина 111 м, водоизмещение 6300 т., скорость до 14 узлов. Научно-технический состав 60 человек. Оснащено спутниковой навигационной системой, электронно-вычислительной техникой, гидравлическими лебедками, современными аналитическими лабораториями.

хребтов по обе стороны от нее. Но здесь не хотелось бы излагать полностью суть концепции, так как об этом в журнале «Природа» писалось уже много раз. Представляется важным, однако, обсудить ситуацию в геологии, сложившуюся в связи с развитием тектоники плит. Прежде всего необходимо коснуться соотношения геотектоники, или просто тектоники как геологической дисциплины, и тектоники литосферных плит.

Тектоника как наука призвана изучать строение, движения и развитие земной коры и строение и развитие Земли в целом. Такое определение в 1947 г. сформулировал наш знаменитый геолог Н. С. Шатский. Из определения видно, что это сугубо геологическая дисциплина, опирающаяся на широкий диапазон геологических знаний и синтезирующая их. Для ее успешного развития необходимы детальный стратиграфический и фациальный анализ геологических разрезов, палеогеографические реконструкции, знание особенностей и истории магматических проявлений и усло-

вий залегания горных пород, наконец, учет имеющихся геохимических и геофизических данных. Изменение уровня геологических знаний влечет за собой смену геотектонических концепций. Именно это и произошло в последний период в нашей стране, когда представления о примате вертикальных движений в структурной эволюции земной коры (фиксизм) сменились представлениями о важнейшей роли в этой эволюции горизонтальных движений (мобилизм). Следовательно, к мобилизму мы подошли с геологических позиций.

Тектоника литосферных плит в этом смысле совершенно отличается от геотектоники. По самому своему существу ее построения не геологические, а физические. Эта концепция, появившаяся в 1968 г., возникла не на основе геологических знаний, а как результат геомеханических построений. Как известно, механика — это наука о движении материальных тел и взаимодействии между ними. Именно это и составляет основу генеральной модели тектоники плит. Такие геологические дисциплины, как стратиграфия, литология, петрология, фациальный анализ, палеогеография, структурная геология, тектоника, не имели никакого отношения к построению этой модели. Хотя термин «геомеханика» наиболее точно отражает существо дела, поскольку распространяется как на динамику плит,

так и на их кинематику, в науку вошел не этот, а более узкий термин — геодинамика. Имеется ряд определений геодинамики как научной дисциплины, но в общем они сводятся к изучению процессов, происходящих во внутренних частях Земли, и их воздействия на строение внешних частей. «Колыбель» тектоники плит — океаны.

Когда теоретическая модель была разработана, ее начали «прикладывать» к геологическим объектам. Прежде всего в поле зрения попали континентальные окраины. При этом было предложено интересное объяснение целому ряду очень важных явлений, и в частности сейсмичности и вулканической деятельности в зонах островных дуг.

Темпы развития концепции тектоники плит оказались головокружительными. Не прошло еще и 20 лет, а с ее позиций уже пытаются объяснить и земной тектогенез, и магматические процессы, и образование нефти, и формирование рудных месторождений, и структурную эволюцию земной коры за все 4,5 млрд лет ее существования — словом, все стержневые проблемы геологии. Тем самым тектоника плит превращается в общегеологическую концепцию, как бы в суперконцепцию, охватывающую все стороны геологического знания. Разумеется, о такой концепции можно только мечтать, но не слишком ли преувеличено ее значение? Действительно ли тектоника плит решает основные проблемы геологии или, во всяком случае, близка к этому? Ответы на эти вопросы надо искать в фактических данных, которых, однако, тектонике плит явно недостает. При этом данные, получаемые экспедициями, отнюдь не всегда укладываются в эту концепцию, а требуют иных трактовок.

Как бы то ни было, но концепция тектоники плит чрезвычайно способствовала повороту теоретической геологии в сторону мобилизма, признания горизонтальных перемещений крупных земных масс на большие расстояния. И в этом ее большая заслуга перед современным естествознанием.

ЭМПИРИКА И ТЕКТНИКА

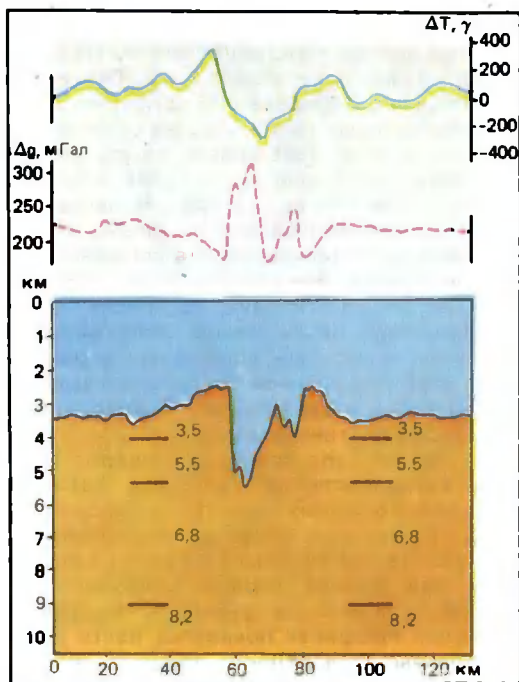
Итак, тектоника литосферных плит и нынешняя геотектоника отнюдь не одно и то же, хотя и в том и в другом случае основа мобилистская. В Альпах, Карпатах, Татрах уже почти столетие известны тектонические покровы и шарьяжи, т. е. более

или менее значительные чешуи (пластины) горных пород, перемещенные по горизонтали на большие расстояния. Обычно в вертикальном разрезе они образуют сложное построенные тектонические сооружения с аномальным залеганием пород (более древние лежат сверху, а более молодые внизу); и так может повторяться несколько раз). Дополнительные осложнения вносят последующие тектонические движения, которые сминают эти «аномальные» сооружения в новые складки, а также часто раскалывают их на блоки. Тектонические покровы и шарьяжи образуются в результате пологих срывов и проскальзывания пачек слоев из-за мощного бокового сжатия геологических комплексов.

Длительное время из-за недостаточной изученности не удавалось находить аналогов подобных структурных ансамблей в других районах. Но затем обнаружилось, что альпийский «стиль» тектоники характерен для многих горных сооружений в нашей стране и за рубежом. На геологических профилях появились почти горизонтальные поверхности крупных срывов, называемые надвигами.

Все эти чисто эмпирические данные были получены при проведении экспедиционных геологических или собственно тектонических исследований с использованием методов геологической съемки.

Мощным толчком, позволившим обнаружить в земной коре надвиги, послужил недавно установленный важнейший факт тождества строения земной коры под океанами и так называемых офиолитовых серий, встречающихся в горных сооружениях суши. Офиолиты представляют собой пачки горных пород, в основании которых залегают мантийные ультрабазиты, сменяющиеся сверху габброидами, а затем толеитовыми базальтами с глубоководными осадками океанического типа. Это означает, что в пределах современных континентов мы встречаем фрагменты океанической земной коры. Иными словами, горные сооружения хранят следы некогда существовавших океанических бассейнов. Фрагменты океанической коры могут оказаться на поверхности лишь благодаря выносу их по крупным надвигам — иначе трудно представить механизм появления в горах столь глубинных пород. Действительно, полевые исследования показывают, что офиолиты всегда залегают в виде чешуй и покровов. Таким образом, крупные горные сооружения являются не просто складчатыми, как традиционно их называют, а покровно-складчатыми.



Геофизические и морфологический профили через впадину Хесса — рифтогенную структуру, лежащую вблизи экватора на простирании Галапагосской рифтовой зоны. На дне впадины отмечаются высокие значения теплового потока. Строеие впадины на гравиметрическом (Δg) и магнитометрическом (ΔT) профилях. Утолщенными линиями на нижнем рисунке показаны сейсмические границы, цифры — скорости прохождения сейсмических волн в км/с.

Это качественно новое представление повлекло за собой серьезные теоретические следствия. Земную кору под горными сооружениями стали считать тектонически расслоенной, а отнюдь не неким однородным монолитом. Вскоре экспедиционные исследования показали, что и в древнем кристаллическом фундаменте равнинных платформенных областей имеются горизонтальные срывы. Кольская сверхглубокая скважина, превысившая по глубине 12 км, пробуренная в древних кристаллических комплексах Балтийского щита, дала новые факты о тектоническом расслоении фундамента. Тем самым были созданы фактические предпосылки для новой тектонической концепции — концепции тектонической расслоенности земной коры и литосферы. Ее существо состоит в том, что обособленные пакеты горных пород — литопластины, отслоенные друг от друга, — перемещаются в зем-

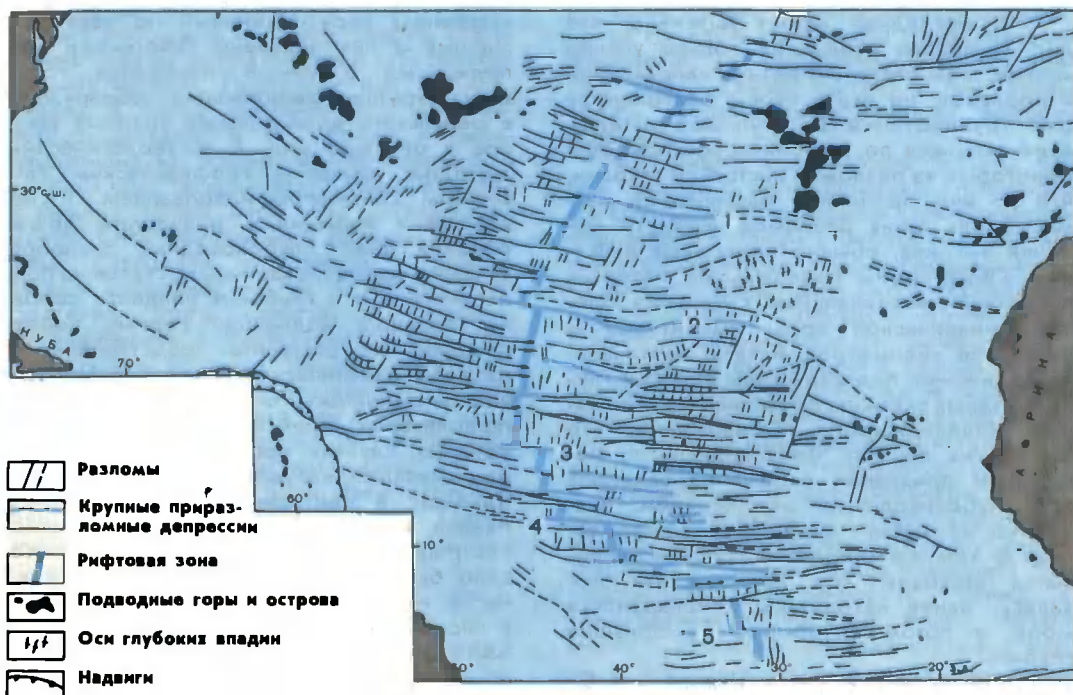
ной коре и литосфере в горизонтальном направлении. Скорости их перемещения разные, вследствие чего в одних местах происходит нагромождение литопластин, их скупивание, тогда как в других массы литосферы растягиваются. При ближайшем рассмотрении оказалось, что этот простой механизм способен объяснить многие явления, с которыми сталкиваются геологи, в том числе характер залегания многих полезных ископаемых, а в некоторых случаях и их происхождение.

Новая тектоническая концепция, о которой идет речь, зародилась и развивалась в Геологическом институте АН СССР, но ныне она стала уже достоянием широких кругов геологов, и, что особенно важно, этой концепцией стали пользоваться геологи-практики, ибо она существенно помогает при проведении геологических съемок и поисковых работ. Разумеется, возникает вопрос, а чем же вызваны дифференцированные по скорости движения пластины? Мы обсудим эту тему после рассмотрения тектонических движений в коре и мантии океанов.

ЧТО ОБНАРУЖИЛИ ОКЕАНСКИЕ ЭКСПЕДИЦИИ

Прежде всегда считалось, что океаническая земная кора тектонически инертна. Полагали, что она представляет собой некий жесткий погруженный под воду монолит, для обозначения которого был придуман даже особый термин — «талассократон», что означает «океанская крепость». Но от этого термина пришлось отказаться, так как оказалось, что океанические области тектонически активны. Факты, приведшие к такому заключению, появились постепенно. Вначале в результате геологических и геофизических исследований выяснилась разница в строении океанического дна в разных районах. Достаточно взглянуть на карту глубин Тихого океана, чтобы сразу увидеть значительно более сложную картину рельефа дна в его западных районах, чем в восточных, по-видимому вызванных различием тектонических процессов.

Во второй половине 50-х годов в океанах была открыта мировая рифтовая система — система глубоких щелевидных вытянутых впадин — крупнейшее транс-океаническое тектоническое образование Земли, простирающееся на 60 тыс. км. Такое гигантское раскалывание земной коры есть результат грандиозных внутри-земных напряжений, причиной которых



Карта разломов северной части Центральной Атлантики, демонстрирующая сложность строения дна (по А. О. Мазаровичу). Цифрами обозначены разломы: 1 — Атлантический, 2 — Кейби, 3 — Зеленомисский, 4 — Вима, 5 — Четвертого градуса с. ш.

может быть воздействие на Землю космических факторов. Обратим внимание, что возраст отдельных участков рифтовой системы отнюдь не одинаков. Как свидетельствуют геологические данные, наиболее древние ее отрезки, возникшие в мезозое, находятся в Атлантике; самые молодые, позднекайнозойские, — в Калифорнийском заливе и Красном море. Основная же часть этой системы, включающая ее гигантский отрезок на востоке Тихого океана, а также индийские звенья и отрезки Арктической Атлантики и Северного Ледовитого океана, образовалась в самом конце мезозоя и начале кайнозоя, т. е. примерно около 65 млн лет назад. Но с этим временем, как думают многие геологи, в геологической истории планеты связаны катастрофические события, свидетельством которых являются интереснейшая геохимическая аномалия (обогащение иридием и некоторыми другими элементами осадочных отложений), вымирание ряда групп организмов («великое ме-

зозойское вымирание»), грандиозная вспышка вулканизма¹. В таком случае образование мировой рифтовой системы — этого гигантского раскола земной коры — явление также экстраординарное, подчеркивающее реальность предположений о внешних причинах земных возмущений, происходивших в преддверии и на заре последней геологической эры. В геотектонике давно признается, что причины импульсов тектонических процессов заключены не только в глубинах планеты, но и вне ее — в космическом пространстве.

Обратимся к другим данным о тектонических движениях в океанах. Чуть позже обнаружения мировой рифтовой системы на дне восточной половины Тихого океана были выявлены гигантские разломы, по которым породы сдвинулись на сотни, а иногда более чем на 1 тыс. км. Сначала их было немного: Мендосино, Пайонир, Молокаи, Клиппертон, Кларион, но затем число разломов значительно увеличилось. К сожалению, однако, мы до сих пор мало знаем об их глубинных частях, что помогло бы лучше понять тектоническую эволюцию океанического дна.

¹ «Редкие события в геологии» // Природа. 1986. № 1. С. 53—66.

В последнее время выяснено, что дно Мирового океана не только усеяно множеством разломов разных направлений и порядков, но что в своем большинстве они группируются в крупные системы, отличающиеся по тектонической природе. Некоторые из разломов настолько глубоки, что по ним проникают базальтовые магмы. Вдоль таких разломов вытянуты цепочки высоких, обычно подводных вулканов. Обнаружены разломы, по которым произошли вертикальные смещения блоков океанической коры амплитудой в несколько километров. Кстати, вертикальные движения подтверждены сотнями глубоководных скважин, пробуренных «Гломаром Челленджером». Обнаружено, что во многих случаях мелководные по некоторым признакам отложения залегают под глубоководными отложениями, оказываясь на глубине 4—5 и более километров. О том же свидетельствуют исследования подводных гор, которые, как оказалось, ранее находились у поверхности моря, а потом опустились на большие глубины.

Сейчас нет, кажется, никого, кто бы отрицал крупные погружения океанического дна за последние 100—150 млн лет. Но каков механизм этих погружений? Можно думать, что важную роль играло опускание по разломам. Материалы, собранные в краевых частях Атлантического океана, безусловно свидетельствуют, что в ходе его расширения вследствие раздвигания континентов, расположенных по одну и другую сторону океана, континентальные окраины раскалывались. При этом происходило ступенчатое и все более глубокое опускание блоков в сторону центральных частей акватории. В западной половине Тихого океана высота «ступеней» значительно больше, чем в восточной. Северо-западный сектор океана представляет собой область огромных глубин, иногда превосходящих 6000 м. Субширотный палеовулканический хребет Маркус-Неккер отделяет от этой зоны расположенную южнее менее погруженную ступень, Марианскую, где глубины на 1—1,5 км меньше. С юга она ограничена также субширотной Каролинской вулканической грядой, за которой располагается еще менее погруженная ступень — Каролинская, с глубинами до 4000—4500 м. Ступенеобразные формы рельефа видны также в области распространения разломов-гигантов на востоке Тихого океана.

Но в земной коре под океанами имеется еще одна категория деформаций,

вызванных перемещениями по надвигам. Данные о них получены советскими экспедициями в самые последние годы. Одна группа деформаций обнаружена в результате драгирования крупных уступов в рельефе дна, т. е. геологическим методом, другая — геофизическим, глубинным сейсмопрофилированием. К настоящему времени в результате драгирования стен глубоководных желобов, крупных ущелий, различных уступов на поднятиях дна и в глубоких впадинах собраны большие коллекции горных пород, позволяющие составить представление о разрезе океанической земной коры. Как уже упоминалось, он сходен с разрезом офиолитовых серий континентов. Но в некоторых случаях последовательность пород оказалась нарушенной. Так, в разломе Клариион, в центральной области Тихого океана, в верхней части уступа оказались ультраосновные породы, которым следовало быть в его основании, а в нижней части — толеитовые базальты, которые в «нормальном» разрезе лежат в верхней части твердой коры. Замечательное явление обнаружено на островном склоне глубоководного желоба Тонга. Снизу вверх по склону в интервале глубин около 5 км здесь выявлено трехкратное повторение разреза океанической коры². Аномальное залегание пород отмечается и в Атлантике. Например, на банке Горринж (север Канарской котловины) на поверхность дна выходят мантийные ультраосновные породы, залегающие в виде тектонической чешуи. Эти и другие подобные факты приводят к выводу, что в океанической коре, как и в континентальной, происходят горизонтальные срывы пород.

В ряде работ последних лет показано, что во фрагментах океанической земной коры, встречающихся на континентах, как правило, имеются пологие надвиги и чешуйчатые структуры, образовавшиеся в океанскую стадию развития соответствующих участков. Это дополнительное свидетельство горизонтальных тектонических движений в субстрате океанов.

Геофизические свидетельства существования структур подобного рода выявляются при глубинном сейсмопрофилировании. Примером может служить профиль, пройденный в Атлантике по 20-му градусу ю. ш. через Срединно-Атлантический хре-

² Пуцин И. К. Экспедиция к желобу Тонга. // Природа. 1983. № 9. С. 25—27.

бет. Оказалось, что в самом глубоком слое земной коры имеются полого наклоненные площадки, которые, скорее всего, можно считать поверхностями субгоризонтальных срывов. Поскольку они не проникают в более высокие слои, сложенные базальтами, а тем более в перекрывающие их осадки, можно говорить о дисгармонии тектонических форм верхних и нижних частей коры. Эта дисгармония может быть обусловлена разным состоянием материала, способным к пластическим деформациям на глубинах, и отсутствием этого свойства в породах, приближенных к поверхности. Очень вероятно, что крупные океанические поднятия, обладающие утолщенной корой, типа поднятий Шатского или Хесса в Тихом океане, произошли за счет тектонического сгущивания глубинного материала.

Отметим еще один замечательный феномен. В некоторых районах Тихого океана устанавливаются перемещения крупных масс океанической земной коры, и притом на большие расстояния. Доказывается это тем, что отдельные горы, вершины которых сложены коралловыми образованиями, возникшими в теплых водах, в настоящее время располагаются в северных широтах, где подобные кораллы не образуются. Получается картина, в принципе подобная дрейфу континентальных обломков. В этой области для науки еще большое поле деятельности. Таким образом, налицо разнообразные проявления тектонических движений в земной коре, и по крайней мере в верхней части мантии в океанических областях.

Разнообразен в океанах и магматизм. Еще очень недавно, в конце 70-х годов, многие считали, что океанические базальты очень похожи друг на друга и образуют единую петрографическую провинцию. В этом смысле напрашивается параллель с «тектонически инертным талассократом». Но глубокое изучение поднятых со дна океана образцов, их подробный химический и изотопный анализы показали, что базальты обладают существенными различиями, в том числе обусловленными неодинаковым составом мантии, из которой они выплавлялись, т. е. горизонтальной неоднородностью мантии. Это заключение имеет принципиальное значение для тектоники, так как, обнаруживая магматические провинции, мы приближаемся к выявлению глубинных неоднородностей, и не только их местоположения и масштаба, но и самой сущности. Раньше к глубинным неоднородностям удавалось

подходить лишь с помощью геофизических методов; теперь же открывается возможность привлечь для этого такой важный показатель, как вещественный состав мантии. Задача сейчас состоит в том, чтобы понять геологическую природу неоднородностей.

В общем виде можно сказать, что она связана с перемещением глубинного материала под влиянием тектонических процессов, с одной стороны, и с мантийными физико-химическими процессами — с другой. Движущей силой последних, как признается многими, может быть конвекция глубинных масс, однако разные масштабы ее проявления и разные уровни положения неоднородностей не позволяют сводить процесс движения вещества внутри Земли к простым схемам. Система конвекционных ячеек оказывается сложной, и функционируют они дискретно. Естественно, что в связи с конвективными или иными потоками глубинных масс уже в твердо-пластической среде возникают разнообразные тектонические движения, трансформирующиеся в более вязких внешних оболочках в горизонтальные срывы и вертикальные смещения. Так, с помощью выявления и изучения вещественных неоднородностей в недрах нашей планеты можно подойти к особенностям проявления и причинам земного тектогенеза.

Затронутые выше вопросы обсуждаются и долго еще будут обсуждаться в геологической литературе. К выявлению вещественных неоднородностей внутри земного шара мы только начинаем подходить. Нужно иметь значительно большую фактическую базу, чтобы выводы о тектогенезе Земли углублялись, а модели совершенствовались. Большие надежды можно и нужно связывать при этом с изучением пород твердой коры океанического дна (основных и ультраосновных), что должно быть постоянно в поле зрения океанских экспедиций. Однако ни в коем случае не хотелось бы быть понятым так, что искать первопричины тектонических движений нужно только в глубинном развитии земного шара. Деформации земной коры, а также мантии обусловлены воздействием внутриземных и внеземных причин, различать которые мы пока что не в состоянии. От этого двойного воздействия и образовался тот неупорядоченный структурный план на Земле, который не ускользнет от взгляда любого человека, рассматривающего глобус.

КОЛЫМСКИЙ ФУЛЬГУРИТ



Новым экспонатом в геолого-минералогическом музее Северо-Восточного комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР стал Колымский фульгурит. Фульгуриты (от лат. *fulgur* — молния) — это стеклянные трубки в рыхлых осадочных породах или следы оплавления в крепких горных породах, образовавшиеся при ударах молний. Условия для возникновения фульгуритов, по-видимому, возникают на земном шаре посто-

строение аппарата фульгурита в продольном сечении. Внутренняя часть стеклянной трубки имеет исключительно гладкую поверхность. Отчетливо видны натеchnые карманы, пемзообразный слой и «мишень».

янно, но тот факт, что подавляющее число специалистов, не говоря уже о людях, далеких от геологии, проявляют неосведомленность относительно этого термина, свидетельствует либо

Г. Ф. Павлов,
кандидат
геолого-минералогических
наук

А. А. Пляшкевич

Н. Е. Савва,
кандидат
геолого-минералогических
наук
Магадан

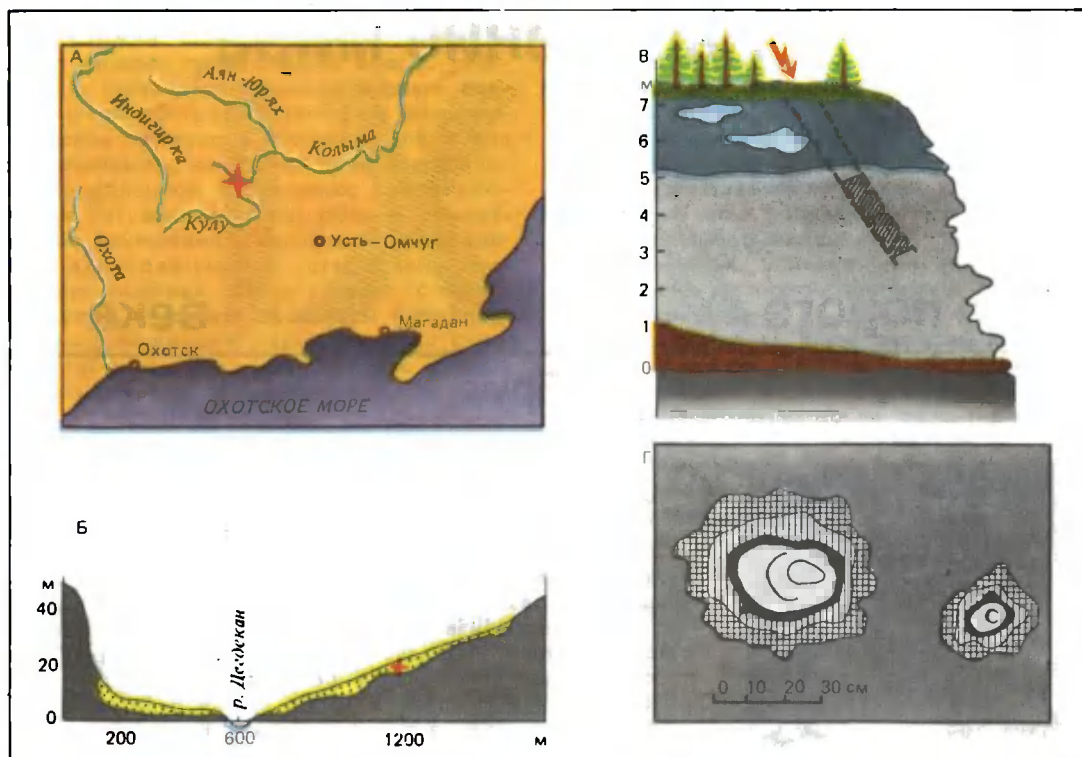
о редкости явления, либо о плохой сохранности фульгуритов в природе.

Внутренняя сильно блестящая и гладкая поверхность фульгуритов состоит из кварцевого стекла. Поперечник у трубок — обычно 1—2 см, иногда больше. «Чемпионом» среди фульгуритов по длине считается остеклованная трубка из Кумберленда (Англия), достигающая 10 м. Сечение трубок не всегда круглое, чаще они сжаты и покрыты продольными бороздами. По внешнему виду напоминают корни: по мере углубления трубка ветвится, искривляется, уменьшаясь в поперечнике у своего окончания до нитки¹.

Колымский фульгурит можно отнести к крупнейшим аппаратам подобного происхождения у нас в стране. По-видимому, это вообще первая находка на территории СССР столь крупного образования. Обнаружен он был в 1984 г. бульдозеристом В. Н. Мусцевым на россыпном месторождении р. Дегденан. Очевидно, головку фульгурита в супесчаном илистом материале 2-метровой мощности не заметили; на стеклянную трубку обратили внимание, когда в разрезе начались щебнисто-галечные отложения. В дальнейшем она была прослежена на глубину до 2,5 м. В верхней части диаметр следа молнии достигал 350 мм.

Сразу после обнаружения фульгурита и сообщения о нем приисковых геологов место находки и сам аппарат были тщательно исследованы специалистами нашего института. В поперечном сечении трубки и ее бо-

¹ Подробнее см.: Лебединский В. И. В удивительном мире камня. М., 1985. С. 117—119.



Общее местоположение находки Колымского фульгурита (А) и его положение в поперечном сечении долины р. Дегдекан (Б); разрез рыхлых отложений в месте находки (В); строение аппарата фульгурита в геологическом срезе на уровне его обнаружения (Г).



кового ответвления отчетливо выделяются 3 зоны: «мишень» (спекшийся аллювий темно-серого цвета — 5—7 см), «шлак» (пористый пемзообразный стекловатый слой — 2—3 см), стекло бутылочного цвета с натеками — 2—3 см. Отобранные образцы подверглись силикатному, спектральному, минералогическому, рентгенометрическому и локальному рентгеноспектральному, палеомагнитному и другим анализам. Определен вещественный состав фульгурита; выделены новообразованные фазы: алюмосиликатное стекло с обособлениями высокоглиноземистой фазы, кварц, α-кристобалит, самородное железо (феррит), фосфид железа (безникелистый шрейберзит) и сульфид железа (троилит?). Спектральный анализ 35 проб показал, что от «мишени» к стеклу нарастает содержание только Cr; содержания Co, Ti, Cu во всех трех зонах близки, а Sn, Ag, Pb, Mo, Zn, Ga, Mn, Ni отчетливо снижаются. В целом же состав стекла близок к составу

«мишени». Новым для фульгуритов является обнаружение минералов железа, обязанных своим происхождением, по-видимому, тонкорассеянному пириту и органике, содержащимся в гальке сланцев. Новообразованные фазы и ряд особенностей стекла говорят о весьма быстром неполном плавлении и, возможно, частичном испарении вещества «мишени» при ударе в нее молнии.

Внутренний диаметр главной трубки колеблется от 10 до 12 см. Наличие в срезе на поверхности под углом к ее оси стекловатого образования меньшего размера (5—7 см) говорит о начале аппарата фульгурита в более близкой к современной поверхности части разреза, что очень важно для определения возраста Колымского фульгурита. Свежее состояние всего аппарата и почти бесспорное его продолжение в верхнем молодом делювиальном шлейфе свидетельствуют о его молодости, во всяком случае голоценовом возрасте.

Население мира

на пороге



века

С.И.Брук



Соломон Ильич Брук, доктор географических наук, профессор, заместитель директора Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Специалист в области этнической географии, картографии и демографии. Автор книги: *Население мира. Этнодемографический справочник*. Изд. 2-е. М., 1986. В «Природе» опубликовал статью в соавторстве с В. В. Покшишевским: *Человечество устремляется к морям* (1984, № 4).

Социально-экономические изменения, происшедшие в мире после второй мировой войны, вызвали значительные сдвиги в динамике населения Земли: изменение ряда важнейших демографических показателей и постепенное сглаживание различий между промышленно развитыми и развивающимися странами в характере воспроизводства населения (под воспроизводством населения подразумевается процесс непрерывного возобновления поколений в результате взаимодействия рождаемости и смерти). В то же время отдельные демографические показатели в странах различного типа становятся еще более контрастными.

Необычайно ускорившийся рост численности населения Земли и, что не менее важно, резкие и все усиливающиеся различия в темпах этого роста в разных регионах — главный феномен в демографических процессах послевоенного времени. В литературе по проблемам народонаселения при характеристике этого феномена часто употребляется термин «демографический взрыв». Проблемы народонаселения стали играть все большую роль во внутренней политике различных государств земного шара. Привлекают они внимание и многих международных организаций. В частности, этими вопросами в последние десятилетия занимается Организация Объединенных Наций, включившая их в состав глобальных проблем современности.

Демографические проблемы широко освещались в печати, причем в дискуссиях по ним принимали участие не только демографы, но и ученые смежных специальностей, общественные деятели, публицисты, которые нередко излишне драматизировали положение. Футурологи-алармисты, исходя из достигнутого некоторыми странами ежегодного прироста населения на 3—4 %, а также предполагая его рост и в будущем (в связи со снижением общей смертности и возможным повышением рождаемости в результате ликвидации некоторых болезней и укрепления здоровья людей), утверждали, что население мира будет удваиваться каждые 20 лет и что численность населения Земли к 1980 г. достигнет 7,5 млрд человек, а к 2000 г. — 15 млрд (этот прогноз, как уже сейчас хорошо видно, оказался совершенно несостоятельным).

Страсти по поводу «демографического взрыва» сравнительно быстро улеглись, и связано это было в первую очередь с тем обстоятельством, что демографические тенденции оказались не столь однозначными, как ранее предполагалось. В определенной переоценке складывающейся ситуации сыграло роль и существенное улучшение в последние десятилетия демографической статистики, что, в свою очередь, было связано с необходимостью решить проблемы народонаселения, возникшие перед многими странами. В связи с этим мы сейчас можем изучать происходящие процессы и заниматься прогнозированием демографического развития, основываясь на достаточно достоверных статистических материалах.

При расчетах показателей, приводимых в настоящей статье, использованы новейшие статистические данные различных учреждений ООН, международные справочники и ежегодники, публикации материалов переписей населения. Особенно большое внимание было уделено последним в связи с тем, что в конце 1970-х — начале 1980-х годов в большинстве стран мира проводились переписи населения. В частности, совсем недавно были проведены переписи в таких крупных странах, как Китай (1982 г.) и Индия (1981 г.), резко изменившие наше представление о численности и структуре населения этих стран.

ДИНАМИКА НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ

Динамику населения Земли в целом определяет его естественный прирост, т. е. превышение рождаемости над смертностью. Рождаемость и смертность зависят от социально-экономического строя той или иной страны, но им присущи известная самостоятельность и большая инерция. На них оказывают влияние социальные, экономические, правовые, исторические, этнокультурные, географические, биологические и некоторые другие факторы. В ряде стран на изменение численности населения сильно влияют и миграционные процессы.

На протяжении многих тысячелетий население мира росло чрезвычайно медленно, что может быть объяснено низким уровнем развития производительных сил и большой зависимостью человека от природы на ранних этапах человеческой истории. В древности и средневековье рождаемость была почти повсеместно близкой к физиологическому максимуму, но очень

высокой была и смертность, что вызывалось антисанитарными условиями жизни, периодически вспыхивавшими опустошительными эпидемиями, хроническим недоеданием, частыми войнами, в ходе которых иногда истреблялись целые народы. Уровень рождаемости в целом оказывался ненамного выше уровня смертности. И хотя в отдельных районах порою возникали благоприятные условия для некоторого снижения смертности, отклонения от средних (очень низких) показателей естественного прироста не были, по всей вероятности, особенно значительными.

Начиная с XVI в. темпы прироста населения заметно возросли; развитие капитализма в ряде европейских стран не могло не сказаться на демографических процессах. Резкое же ускорение роста населения началось со второй половины XVIII в., когда в ряде европейских стран произошла промышленная революция. Во второй половине XIX в. среднегодовые темпы прироста населения уже достигли 0,6 % (в XVI—XVIII вв. они были в три раза ниже). Такой рост объясняется снижением смертности, особенно детской, при стабильном уровне рождаемости в промышленно развитых странах Европы и Америки.

К началу XX в. численность населения Земли составила 1630 млн человек. За девятнадцать веков нашей эры население мира увеличилось в 9,6 раз, причем за первые пятнадцать веков — лишь в 2,5 раза, а за последние четыре века — в 3,8 раза.

За первую половину XX в. население мира выросло на 897 млн человек, т. е. на 55 %. И это произошло несмотря на две кровопролитные мировые войны, унесшие 65 млн человеческих жизней и вызвавшие еще большие косвенные потери, связанные с уменьшением рождаемости и увеличением смертности. (Наши ориентировочные прикидки, основанные на методе экстраполяции, свидетельствуют о том, что только в результате второй мировой войны Земля недосчиталась по крайней мере 175 млн человек). Вторая половина XX в. внесла коренные изменения в наши представления о динамике населения. Цифры, с которыми нам сейчас приходится иметь дело, показались бы немыслимыми всего полстолетия назад.

Глобальный демографический взрыв, наступивший после второй мировой войны, и в качественном, и в количественном отношениях отличался от предыдущих. Дело в том, что резкое снижение смертности населения произошло в послевоенное

Динамика численности населения Земли в 1950—1985 гг., по регионам

Регионы	Численность населения, млн чел.		Численность населения 1985 г. к численности 1950 г., %
	1950 г.	1985 г.	
Мир в целом	2527	4829	191,1
Развитые страны	832	1174	141,1
Развивающиеся страны	1695	3655	215,6
СССР (I)	180	277	153,9
Зарубежная Европа	392	493	125,8
Восточная (II)	88	112	127,3
Южная (III)	109	143	131,2
Западная (IV)	123	155	126,0
Северная (V)	72	83	115,3
Зарубежная Азия	1392	2816	202,3
Юго-Западная (VI)	67	175	261,2
Южная (VII)	469	990	211,1
Юго-Восточная (VIII)	183	398	217,5
Восточная (IX)	673	1253	186,2
Африка	220	550	250,0
Северная (X)	52	125	240,4
Восточная (XI)	63	159	252,4
Центральная (XII)	27	62	229,6
Западная (XIII)	63	167	265,1
Южная (XIV)	15	37	246,7
Америка	330	668	202,4
Северная (XV)	166	264	159,0
Центральная Материковая (XVI)	36	105	291,7
Карибская (XVII)	17	31	182,4
Тропическая Южная (XVIII)	86	222	258,1
Умеренная Южная (XIX)	25	46	184,0
Австралия и Океания	12,5	24,5	196,0
Австралия и Новая Зеландия (XX)	10,2	19,0	186,3
Меланезия (XXI)	1,9	4,6	242,1
Полинезия и Микронезия (XXII)	0,4	0,9	225,0

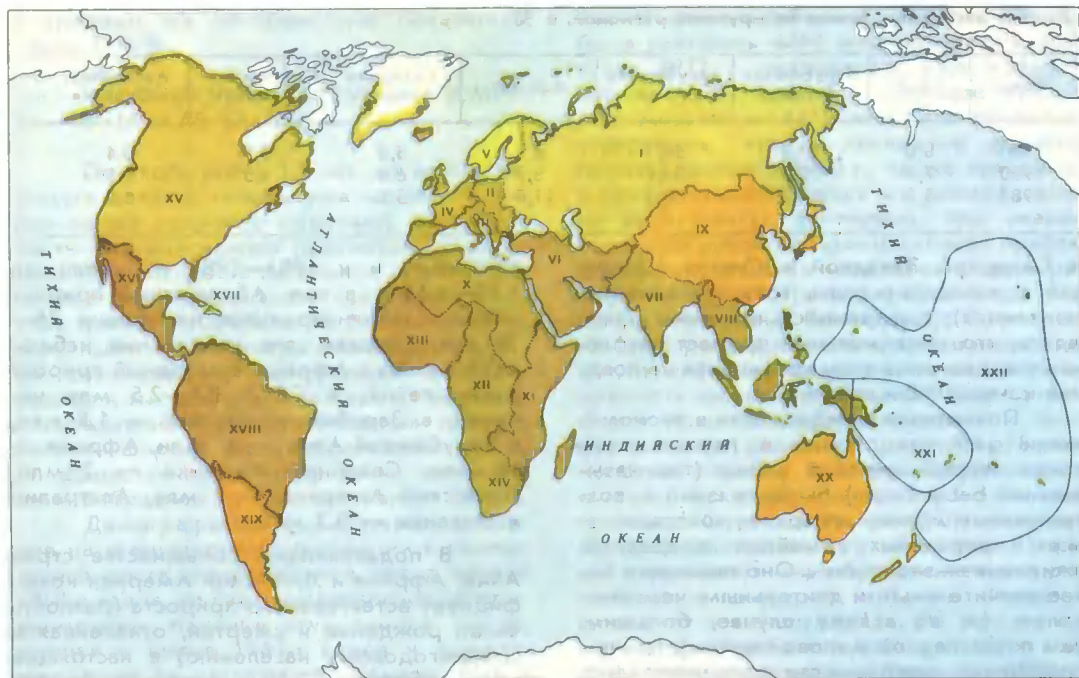
время в очень короткие сроки и охватило подавляющее большинство стран мира. Рождаемость в этот период изменялась не столь существенно. В результате среднегодовой прирост населения увеличился практически во всех странах Земли. Население с 1950 по 1985 г. выросло на 2,3 млрд человек, т. е. практически за этот 35-летний период удвоилось (увеличилось на 91,1 %). Среднегодовой прирост за тот же период составил 65,8 млн человек.

Об ускорении темпов прироста населения Земли на протяжении истории свидетельствуют следующие цифры. За последнее тысячелетие население земного шара увеличилось в 18 раз, причем для первого его удвоения потребовалось почти 600 лет, для второго — 230, для третьего — около 100, для последнего же — менее 38 лет. Численность населения мира достигла 1 млрд примерно в 1820 г., 2 млрд — через 107 лет (в 1927 г.), 3 млрд — 32 года спустя (в 1959 г.), а 4 млрд — всего через 14 лет

(в 1974 г.). Следует ожидать, что очередное увеличение еще на 1 млрд произойдет через 13 лет — в 1987 г.

За 35 лет население Земли увеличилось с 2527 млн до 4829 млн человек. В 23 странах (из 210 стран мира, имеющих постоянное население) оно более чем утроилось (среди них можно встретить такие значительные государства, как Ирак, Кения, Кот-д'Ивуар, Венесуэла) и в 36 странах увеличилось более чем в 2,5 раза (среди них и такие крупные страны, как Бразилия, Нигерия, Мексика, Таиланд, Филиппины, Иран, и такие значительные, как Марокко, Судан, Танзания, Уганда, Гана, Перу). В то же время в 11 странах население увеличилось менее чем на 1/5 (в большинстве своем это западно-европейские страны — Великобритания, Швеция, Дания, Бельгия, Австрия, ФРГ и др.; среди социалистических стран Европы наиболее низкий прирост населения характерен для ГДР и Венгрии).

Подавляющая часть прироста прихо-



Динамика численности населения Земли в 1950—1985 гг., по регионам (здесь и далее они обозначены римскими цифрами, которые пояснены в таблицах).

Рост населения с 1950 по 1985 г. (в %):



дится на развивающиеся страны — из 2302 млн, на которые выросло за 35 лет население земного шара, на них приходится 1960 млн, т. е. 85,1 % всего прироста. В связи с этим доля развивающихся стран в населении увеличилась с 1950 по 1985 г. с 67,1 до 75,7 %. Сейчас из ежегодного прироста населения в 78 млн человек развивающиеся страны дают 72 млн и развитые — всего 6 млн.

В результате различий в темпах роста населения в отдельных крупных регионах мира их доля в общем населении Земли существенно меняется. За 35 лет доля Зарубежной Европы в населении мира уменьшилась более чем в 1,5 раза, а доля Африки и Латинской Америки увеличилась почти на одну треть (по сравнению с началом века доля Латинской Америки возросла в 2,2 раза, а доля Африки — на 70 %).

Темпы роста населения в послевоенное время различались не только по регионам и странам, но и по отдельным периодам. Сразу же после окончания второй мировой войны эти темпы практически во всех странах резко возросли. В 1950—1955 гг. среднегодовые темпы роста достигли по миру в целом 1,9 % (т. е. увеличились почти в два раза по сравнению с 1920—1940 гг.), а в ряде государств Центральной и Южной Америки, Африки и Азии превысили 3 %. В некоторых из этих стран коэффициент рождаемости (число рождений за год на 1000 человек) составил 5—5,5 %, т. е. приблизился к физиологическому максимуму, а коэффициент смертности (число смертей за год на 1000 человек) даже в самых экономически отсталых странах снизился до 2—2,5 %. До конца 1960-х годов темпы естественного прироста почти не менялись (в 1950—1970 гг. они в среднем были равны 1,96 %, при максимуме в 1968 г. 2,07 %), а затем медленно, но неуклонно начали снижаться. В СССР, Северной и Латинской Америке пик темпов роста населения пришелся на 1955—1960 гг., в Зарубежной Европе на 1960—1965 гг., в Зарубежной Азии на 1965—1970 гг., в Австралии и Океании на 1950—1955 гг. В Африке в целом темпы роста еще продолжают увеличиваться, однако не во всех регионах

Доля в населении Земли ее крупных регионов, в %

Годы	СССР	Зарубежная Европа	Зарубежная Азия	Африка	Северная Америка	Латинская Америка	Австралия и Океания
1900	8,0	17,8	58,2	6,7	5,0	3,9	0,4
1950	7,1	15,5	55,1	8,7	6,6	6,5	0,5
1985	5,7	10,2	58,3	11,4	5,5	8,4	0,5

(в Северной, Западной и Южной Африке они в последние годы, хотя и медленно, снижаются); с уверенностью можно утверждать, что максимальный прирост населения ожидается на этом континенте не позднее конца 1980-х годов.

Повышение рождаемости в экономически развитых странах в первые годы после второй мировой войны (так называемый *baby boom*) было связано с возвращением мужчин из армии, восстановлением прерванных семейных отношений, оживлением экономики. Оно оказалось более значительным и длительным, чем ожидалось (и, во всяком случае, большим, чем после первой мировой войны), причем повышение рождаемости сопровождалось резким снижением смертности (особенно детской). Поэтому естественный прирост населения в первое послевоенное десятилетие был в этих странах весьма значительным. В 1960-х годах демографическая ситуация в развитых странах изменилась: в большинстве из них началось сокращение рождаемости, которое проходило более быстрыми темпами, чем снижение смертности, что привело к замедлению темпов естественного прироста. Тенденция к снижению рождаемости в ряде социалистических стран Европы в 70-е годы несколько сдерживалась проведением направленной демографической политики.

В развивающихся странах ускорение темпов роста населения в 50—70-е годы было вызвано прежде всего существенным снижением смертности при сохранении высокой рождаемости. Уменьшение общего коэффициента смертности более чем в два раза в этих странах в рассматриваемый период обусловлено сокращением смертности детей (вследствие налаживания акушерской службы и внедрения элементарных правил санитарии и гигиены) и мероприятиями по борьбе с эпидемическими и остроинфекционными болезнями, которые проводились во многих странах с помощью международных организаций.

С 1968 г. темпы естественного прироста населения мира начали непрерывно

снижаться и к 1983—1985 гг. упали до 1,60—1,65 % в год. Абсолютный прирост сейчас стабилизировался на уровне 76—78 млн человек, его увеличение наблюдается лишь в Африке. Ежегодный прирост равен сейчас в СССР 2,1—2,5 млн человек, в Зарубежной Европе — 1,5 млн, в Зарубежной Азии — 47 млн, Африке — 16 млн, Северной Америке — 2 млн, Латинской Америке — 9 млн, Австралии и Океании — 0,3 млн.

В подавляющем большинстве стран Азии, Африки и Латинской Америки коэффициент естественного прироста (разность чисел рождений и смертей, отнесенная к среднегодовому населению) в настоящее время больше 2 % в год. В Европе только несколько стран (Албания, Ирландия, Исландия) имеют естественный прирост, несколько превышающий 1 %. Наиболее высокий коэффициент прироста (более 3 %) характерен для большинства арабских стран Азии и Африки, Ирана, Зимбабве, Кении (естественный прирост в этой стране самый высокий в мире — несколько более 4 % в год), Малави, Руанды, Танзании, Уганды, Ганы, Либерии, Нигерии, Ботсваны, Свазиленда, Гватемалы, Гондураса, Никарагуа, Эквадора. В то же время для некоторых стран Европы в последние годы характерно суженное воспроизводство населения, т. е. воспроизводство населения при коэффициенте естественного прироста меньше 0.

Средний коэффициент рождаемости по миру в целом сейчас равен 2,69 %. В развитых странах он в два с лишним раза ниже, чем в странах развивающихся (соответственно 1,49 и 3,21 %). Наивысший коэффициент рождаемости (более 5 %) зарегистрирован в четырех странах Африки — в Кении, Малави, Нигере и Ботсване; самый низкий (менее 1,2 %) — в ФРГ, Западном Берлине, Дании, Италии, Швеции, Швейцарии, Люксембурге.

Коэффициенты смертности в развитых и развивающихся странах в последние годы почти сравнялись (в первых в среднем 0,96 %, во вторых — 1,10 %).

В среднем же по миру этот показатель равен 1,06 %.

ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Осталось всего 13 лет до конца текущего века, и теперь уже можно более или менее уверенно оценивать достоверность многочисленных прогнозов, определявших численность населения мира и различные демографические показатели к началу третьего тысячелетия. Наиболее авторитетными из них всегда считались прогнозы специалистов, работающих в ООН, однако и эти прогнозы, по нашему мнению, в определенной степени испытали на себе влияние широко распространившейся среди общественности мира точки зрения о лавинообразном росте населения Земли.

Демографы ООН не обратили внимания на стагнационные тенденции в темпах такого роста, наметившиеся уже в начале 1960-х годов, не сумели своевременно предусмотреть падение этих темпов, наступившее в конце 1960-х годов и продолжавшееся до настоящего времени. Еще в начале 1970-х годов они утверждали, что наивысшего уровня прирост населения Земли достигнет в период с 1970 по 1980 г. и что общие темпы прироста народонаселения не будут претерпевать значительных изменений до конца столетия. Более поздние прогнозы ООН несколько отличаются от намеченных выше. В них признается, что наивысшего «уровня» темпы роста населения достигли в 1965—1970 гг. и что во всех регионах, за исключением Африки, они падают. По прогнозу ООН 1980 г. темпы роста населения всего мира (по среднему варианту) будут по пятилетиям меняться следующим образом: 1980—1985 гг. — 1,70 %; 1985—1990 гг. — 1,65; 1990—1995 гг. — 1,60; 1995—2000 гг. — 1,50 (по максимальному варианту в 1995—2000 гг. прирост будет равен 1,69 %, по минимальному — 1,20 %). В целом же за период 1980—2000 гг. мировое население (по среднему варианту) возрастет на 38 %, т. е. будет ежегодно увеличиваться на 1,64 %. Оно составит в 2000 г. 6119 млн человек, в том числе в развитых странах — 1272 млн и в развивающихся — 4847 млн.

Следует указать на одну особенность, характерную для всех расчетов, производимых специалистами ООН, — все обновляемые цифры оказываются меньшими, чем предыдущие: по среднему варианту прогноза, сделанного в 1970 г., числен-

ность населения Земли в 2000 г. должна была составить 6494 млн человек, в прогнозе 1977 г. указывалось уже меньшее число — 6254 млн и в прогнозе 1980 г. еще меньше — 6119 млн. Это позволяет утверждать, что и последние расчеты, произведенные в 1980 г., также завышены. В своем предположении мы основываемся на двух фактах. Во-первых, при указанных выше расчетах была несколько преувеличена численность населения ряда стран мира на 1980 г. (в первую очередь, Индии, Пакистана и Бангладеш). Во-вторых, не было учтено, что в последние несколько лет, в связи со снижающимися темпами прироста населения, абсолютный среднегодовой прирост стабилизировался и ныне составляет в целом по миру 76—78 млн человек, поэтому нет никаких оснований считать, что в дальнейшем он может увеличиться. Специалисты же ООН исходили из предположения, что абсолютный прирост населения мира будет ежегодно увеличиваться примерно на 1 млн человек и достигнет к началу XXI в. 90 млн в год.

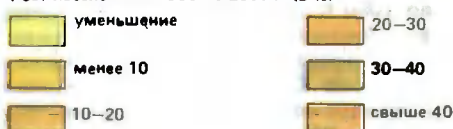
Используя последние данные о численности населения по странам на 1985 г., а также учитывая тенденции изменения темпов роста на 1970-е — первую половину 1980-х годов в каждой из них, мы сделали свои прикидки о численности населения на начало 2000 г. Согласно нашим предположениям, численность населения Земли достигнет в начале XXI в. 5930 млн человек, т. е. оно будет на 189 млн меньше, чем предусмотрено средним вариантом ООН, и на 93 млн больше, чем предусмотрено минимальным вариантом. Среднегодовой прирост составит 75,9 млн человек, или 1,43 % (в том числе в развитых странах — 0,51 %, а в развивающихся — 1,70 %). Население Африки будет расти наиболее быстрыми темпами (2,58 % в год), довольно высокие темпы роста предполагаются и в Латинской Америке (2,06 %). Из субрегионов наибольший рост населения будет характерен для Восточной, Западной и Северной Африки, Центральной Америки (не считая Карибской Америки), Юго-Западной Азии и Меланезии. В то же время в большинстве стран Западной и Северной Европы будет иметь место простое (или даже суженное) воспроизводство населения.

Всего за вторую половину XX столетия население Земли увеличится в 2,35 раза, в том числе население развивающихся стран в 2,75 и развитых — в 1,5 раза. В СССР число жителей возрастет в 1,7 раза, в Зарубежной Европе — в 1,3,



Предполагаемая динамика численности населения Земли в 1985—2000 гг., по регионам.

Рост населения с 1985 по 2000 г. (в %)



Зарубежной Азии — в 2,5, Африке — в 3,6, Северной Америке — в 1,8, Латинской Америке — в 3,3, Австралии и Океании — в 2,3 раза. По субрегионам различия в приросте будут еще более значительными. Население Центральной Америки (материковой части) увеличится в 4,5 раза, Западной Африки — в 3,9, Восточной Африки и Юго-Западной Азии — в 3,7, Тропической Южной Америки и Северной Африки — в 3,5 раза. В то же время население Северной Европы возрастет всего на 13,5 %, а Западной — на одну четверть. Неравномерный рост населения заметно изменит к концу XX в. долю отдельных крупных регионов в общем населении Земли. Численность населения СССР составит в 2000 г. 5,2 % всего населения мира, Зарубежной Европы — 8,5 %, Зарубежной Азии — 58,2 %, Африки — 13,4 %, Северной Америки (без Мексики) — 5 %, Латинской Америки — 9,2 %

Австралии и Океании — 0,5 %. По сравнению с 1950 г. доля Зарубежной Европы в мировом населении станет почти вдвое меньше, а доля Африки увеличится в полтора раза. Что же касается всей группы развитых стран, то их доля в населении Земли упадет до 21,3 % (в 1950 г. — 32,9 %), а доля развивающихся стран возрастет до 78,7 %.

Существенно изменяется и соотношение крупнейших, крупных, средних и малых стран. Если считать крупнейшими те государства, население которых насчитывает более 100 млн жителей, то в 1950 г. их было четыре (Китай, Индия, СССР, США), в 1985 г. их стало семь (к ним добавились Индонезия, Бразилия, Япония), а в 2000 г. их будет 11 (вместе с Бангладеш, Пакистаном, Нигерией и Мексикой). В 1950 г. в крупнейших странах жило 1258 млн человек (49,8 % всего населения), в 1985 г. — 2761 млн (57,2 %), а в 2000 г. будет жить 3761 млн (63,4 % населения мира). Крупных стран (50—100 млн жителей) в 1950 г. насчитывалось 4 (Япония, Индонезия, Бразилия, Великобритания), в 1985 г. — уже 11 (Бангладеш, Пакистан, Нигерия, Мексика, Вьетнам, ФРГ, Великобритания, Италия, Франция, Филиппины, Таиланд; Индонезия, Бразилия и Япония перешли сейчас в разряд крупнейших), а в 2000 г. станет 13.

Предполагаемая динамика численности населения Земли в 1985—2000 гг., по регионам

Регионы	Численность населения, млн чел.		Численность населения 2000 г. к численности 1985 г., %	Среднегодовой прирост в 1985—2000 гг., %
	середина 1985 г.	начало 2000 г.		
Мир в целом	4829	5930	122,8	1,43
Развитые страны	1174	1263	107,6	0,51
Развивающиеся страны	3655	4667	127,7	1,70
СССР (I)	277	310	111,9	0,78
Зарубежная Европа	493	505	102,4	0,17
Восточная (II)	112	119	106,3	0,42
Южная (III)	143	151	105,6	0,38
Западная (IV)	155	153	98,7	—0,08
Северная (V)	83	82	98,8	—0,08
Зарубежная Азия	2816	3451	122,5	1,41
Юго-Западная (VI)	175	247	141,1	2,40
Южная (VII)	990	1259	127,2	1,67
Юго-Восточная (VIII)	398	510	128,1	1,73
Восточная (IX)	1253	1435	114,5	0,94
Африка	550	796	144,7	2,58
Северная (X)	125	180	144,0	2,54
Восточная (XI)	159	233	146,5	2,67
Центральная (XII)	62	85	137,1	2,20
Западная (XIII)	167	245	146,7	2,68
Южная (XIV)	37	53	143,2	2,51
Америка	668	838	125,4	1,58
Северная (XV)	264	296	112,1	0,79
Центральная Материковая (XVI)	105	150	142,9	2,49
Карибская (XVII)	31	40	129,0	1,77
Тропическая Южная (XVIII)	222	302	136,0	2,14
Умеренная Южная (XIX)	46	50	108,7	0,58
Австралия и Океания	24,5	29,4	120,0	1,26
Австралия и Новая Зеландия (XX)	19,0	21,7	114,2	0,92
Меланезия (XXI)	4,6	6,6	143,5	2,37
Полинезия и Микронезия (XXII)	0,9	1,1	122,2	1,39

Что касается средних стран (10—50 млн человек), то их в 1950 г. было 28, в 1985 г. — 42, а к 2000 г. станет 48. Всего же из 210 стран мира крупнейших, крупных и средних в 1950 г. насчитывалось 36 (с общим числом жителей 2184 млн человек, что составляло 86,4 % всего населения Земли), в 1985 г. — 60 (4479 млн человек, 92,8 % всего населения), а в 2000 г. будет 72 страны (5609 млн человек, 94,6 % всего населения). Особенно резко меняется положение в Африке, где из 55 стран в 1950 г. лишь пять считались средними. В 2000 г. там будет одна страна, относящаяся к разряду крупнейших, две крупные и 19 средних.

Демографические тенденции в послевоенном мире определяются исторически неизбежным переходом от нерегулируемой высокой к регулируемой низкой рождаемости, снижением общей смертности (главным образом за счет резкого уменьшения младенческой смертности), увеличением средней продолжительности жизни,

возрастанием темпов урбанизации. Развивающиеся страны находятся на разных стадиях этих процессов. Страны Латинской Америки по многим демографическим показателям (например, по уровню общей смертности) уже начинают сравниваться с развитыми странами. Что же касается стран Африки, то в большинстве из них демографические показатели будут еще не одно десятилетие существенно отличаться от показателей в экономически развитых странах.

Ниже мы вкратце рассмотрим, как во второй половине XX в. менялась демографическая ситуация в странах различного типа, заострив наше внимание на нескольких важнейших показателях. Демографические перемены начали наблюдаться в развивающихся странах сразу же после второй мировой войны. Главной среди них было резкое снижение общей смертности населения в результате успешной борьбы международных организаций с экзотическими заболеваниями. За три с половиной после-

военных десятилетия общая смертность снизилась в развивающихся странах с 2,32 до 1,1 % в год, т. е. более чем вдвое, а к концу столетия уровень общей смертности в этих странах будет предположительно на 13 % ниже, чем в странах развитых (соответственно 0,87 и 1 %). В развитых странах смертность несколько увеличится за счет возрастания доли пожилых людей, а в развивающихся странах она будет падать благодаря снижению младенческой смертности и сравнительно медленному росту доли лиц пожилых возрастов. В целом на земном шаре уровень общей смертности с 1950—1955 гг. по 1995—2000 гг. снизится более чем в два раза (с 1,89 до 0,90 %), причем исключительно за счет падения этого показателя в развивающихся странах. Что касается рождаемости, то ее снижение будет не столь стремительным — с 3,63 % в 1950—1955 гг. до 2,2 % в 1995—2000 гг., и даже в 2000 г. рождаемость в развивающихся странах будет выше, чем в развитых странах в 1950 г. В результате разница в темпах естественного прироста населения в двух группах стран будет непрерывно возрастать почти до конца исследуемого периода (в 1950—1955 гг. эти темпы в развивающихся странах были в 1,5 раза выше, чем в странах развитых, а в 1995—2000 гг. будут выше в 4 раза).

За 50 лет средняя продолжительность жизни населения мира возрастет с 47 до 63,9 года, т. е. на 16,9 года, в том числе в развитых странах на 8,5 года и в развивающихся — на 20,1 года. Таким образом, наблюдается сближение этого показателя в странах различного типа. Тем не менее, и в 2000 г. различия в средней продолжительности жизни будут еще весьма значительными (в развитых странах — 73,7 года, в развивающихся — 62,5 года; еще больше они будут, если сравнивать Зарубежную Европу и Африку — соответственно 74,3 и 57,8 года). Непрерывно увеличивается разница в средней продолжительности жизни мужчин и женщин — в 1950 г. она была больше у женщин на 2,4 года, в 1985 г. — на 2,6, а в 2000 г. разница составит 3,1 года (в том числе в развитых странах соответственно 5,4 года, 7,4 и 7,3 года, а в развивающихся — 1,6 года, 2 и 2,5 года).

Структура семьи в странах разного типа также сильно различается. В развитых странах резко преобладают семьи из мужа и жены с их детьми (малая семья). В развивающихся странах немало и боль-

ших, трехпоколенных семей (родители, их сыновья с женами и внуки). Средний размер семьи — наименьший в странах Европы и Северной Америки, которые отличаются низкой рождаемостью и высокой долей взрослых-одиночек (их доля в этих странах достигает 25 %). Так, в США средний размер семьи 3,1 человека, в Австралии, Бельгии, Великобритании, Швейцарии — 2,9 человека, в Дании — 2,8, в ФРГ — 2,7, а в Швеции и ГДР — лишь 2,6 человека. В некоторых развивающихся странах средний размер семьи вдвое или почти вдвое выше: в Иране — 6 человек, в Сирии 5,9, на Филиппинах и в Таиланде — 5,8, в Пакистане и Коста-Рике — 5,7, в Гондурасе — 5,6 и т. д. В СССР, где средний размер семьи 3,5 человека, наблюдаются резкие колебания этого показателя по отдельным республикам (3,1 в Латвийской и Эстонской ССР, 5,7 — в Таджикской ССР).

Уменьшение размеров семьи, резкое увеличение числа разводов (в США разводится каждая вторая семья), все более раннее отделение детей от родителей, быстрый рост числа семей-одиночек (на последнее влияет, в частности, и увеличение разницы в средней продолжительности жизни женщин) — все это ставит перед развитыми странами ряд серьезных социальных проблем. В зарубежной литературе появились даже термины «распад семьи», «кризис семьи». По мнению многих видных ученых, преодоление этого кризиса — глобальная задача будущих десятилетий.

Страны существенно отличаются друг от друга и по возрастной структуре населения. Для развивающихся стран характерна высокая доля детских возрастов (до 14 лет) и небольшой процент людей пожилого возраста (60 лет и старше). В 1985 г. удельный вес этих групп в развивающихся странах составил соответственно 38 и 6 %. В некоторых из этих стран (Кении, Ботсване, многих арабских странах, Замбии, Зимбабве, Руанде, Малави, Нигерии, Гондурасе, Никарагуа) число детей достигает почти половины всего населения.

Для развитых стран характерна пониженная доля детей и высокий процент пожилых людей (соответственно 23 и 15 %). Ввиду чрезвычайно высокого процента детей в развивающихся странах доля лиц производительных возрастов (15—59 лет) в их населении существенно ниже, чем в развитых странах (соответственно 56 и 62 %). До конца 1970-х годов в развивающихся странах шел процесс омоложения населения, в развитых — старения.

В настоящее же время в связи с повсеместным снижением рождаемости и ростом средней продолжительности жизни постарение населения стало специфичным уже для большинства стран мира. С 1950 до 1985 г. число лиц старше 60 лет увеличилось во всем мире со 180 млн человек (7,1 % всего населения) до 400 млн (8,3 %), а к 2000 г. увеличится до 600 млн (10,2 %). «Демографическая нагрузка», т. е. отношение совокупного числа детей и пожилых к числу лиц производительных возрастов, выше в развивающихся странах (44 и 56 %, против 38 и 62 % в развитых). Тенденция ее роста создает множество экономических, социальных и медицинских проблем.

Структура полового состава населения Земли непрерывно изменяется в сторону увеличения доли женщин. В целом в 1985 г. численность мужчин в мире превышала численность женщин на 25 млн. Однако, если исключить Китай и Индию (где мужчин значительно больше, чем женщин), то женщин окажется на 30 млн больше. Из 210 стран мира в 102 больше женщин, в 84 больше мужчин и в 24 примерно равное число мужчин и женщин. Как и другие демографические показатели, половая структура сильно различается в развитых и развивающихся странах (в первых мужчины составляют 48,2 % населения, а во вторых — 50,9 %). К началу XXI в. численность женщин превысит численность мужчин примерно на 20—30 млн. Изменение соотношения произойдет в связи с тем, что разница в продолжительности жизни мужчин и женщин возрастает.

Серьезные проблемы возникают в связи с резким ростом плотности сельского населения. Так, к 2000 г. плотность сельского населения в долинах рек Южной, Восточной и Юго-Восточной Азии, в долине Нила в Африке, на о-ве Ява и в некоторых других областях возрастет до 1500—2000 человек на 1 км², а в такой стране, как Бангладеш, средняя плотность сельского населения достигнет примерно 800 человек на 1 км².

В условиях научно-технической революции неуклонно растет урбанизированность. В начале века в городах жило немногим более 10 % населения мира, в 1950 — 29 %, а в 1985 г. — 41 %. С 1950 по 1985 г. число жителей в городах увеличилось с 730 до 2000 млн человек, т. е. в 2,7 раза. За это же время сельское население возросло с 1797 до 2829 млн, или всего на 57 %, а во мно-

гих странах, в том числе и в СССР, даже уменьшилось. В среднем численность городских жителей ежегодно увеличивалась на 3,6 %, а доля горожан — на 0,34 %. По расчетам специалистов ООН, городское население и в дальнейшем будет расти ускоренными темпами и его доля в общем населении мира достигнет в 2000 г. 51 % (в развитых странах — 79 % и в развивающихся — 44 %, в том числе в Зарубежной Азии — 40 % и Африке — 42 %). По прогнозам ООН, доля горожан будет увеличиваться на 0,69 % в год (в том числе в развитых странах на 0,48 % и в развивающихся — на 0,97 %), и численность городского населения будет ежегодно возрастать почти на 75 млн человек (вместо теперешних 50 млн).

По нашему мнению, такие темпы роста населения городов нереальны. Сейчас уже есть достаточно статистического материала, чтобы утверждать, что в последние годы темпы роста городского населения замедлились, а в ряде урбанизированных стран Европы доля городских жителей даже начинает падать. Во многих развивающихся странах число сельских жителей, мигрирующих в города, превышает их потребности в рабочей силе, что увеличивает армию безработных и полубезработных. Учитывая все это, можно утверждать, что доля городского населения не превысит в 2000 г. 46—47 %. Ускоренными темпами будут расти большие города и особенно города-«миллионеры», число которых к 2000 г., по-видимому, удвоится и превысит 400. Численность жителей в них достигнет 1,2 млрд, что составит 44 % всех горожан и 20 % населения Земли.

Каковы же перспективы роста населения мира в XXI в.? По расчетам ООН, которые можно признать несколько завышенными, население Земли возрастет к 2025 г. до 8 млрд человек (это средний вариант, по максимальному варианту — до 9 млрд, по минимальному — до 7 млрд человек). По мнению большинства ученых, население планеты достигнет к середине XXI в. примерно 9 млрд, а ближе к концу столетия (в 2095 г.), по данным экспертов ООН, на Земле будет жить 10,2 млрд человек, и после этого можно ожидать полной остановки дальнейшего роста населения (или он будет незначительным).

С ЧЕМ СВЯЗАНА ДЕМОГРАФИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА?

Социально-экономическое развитие многих стран мира и научно-техническая

революция, происшедшая в ряде из них после второй мировой войны, отнюдь не решили всех проблем человечества, а некоторые из них даже усугубили. Большие успехи медицины привели к ликвидации многих инфекционных болезней, резкому снижению детской смертности. Вместе с тем негативные последствия научно-технической революции (загрязнение окружающей среды, ускорение темпов работы и жизни и др.) вызвали рост сердечно-сосудистых и раковых заболеваний, увеличили травматизм и т. д. Важнейшей проблемой стало использование трудовых ресурсов в связи с тем, что в одних странах наблюдается их нехватка, а в других — избыток. Во многих районах мира слишком быстро растут города, в отдельных областях увеличивается и без того очень высокая плотность сельского населения.

Выдвижение проблем народонаселения на одно из первых мест среди глобальных проблем современности привело к тому, что сейчас в большинстве стран мира в общей системе социально-экономических преобразований большое значение придается направленной демографической политике — системе осуществляемых государством мероприятий с целью изменения количественных параметров в процессе воспроизводства населения. Они дополняются мерами по регулированию иммиграции и эмиграции, по организованному географическому перераспределению населения, контролю над процессами урбанизации и т. д.

Демографическая политика в большинстве социалистических стран Европы направлена на поощрение рождаемости, чтобы повысить естественный прирост населения. Это позволит обеспечить трудовыми ресурсами их быстро растущую экономику. В ряде развитых капиталистических стран (Франция, ФРГ и др.), где резко упала рождаемость и, соответственно, естественный прирост (в отдельных странах уже началась депопуляция, уменьшение численности населения), принимаются меры экономического стимулирования рождаемости. В то же время многие развивающиеся страны проводят политику так называемого планирования семьи (ведется кампания против ранних браков, в ряде стран законодательно повышен минимальный брачный возраст, пропагандируется применение контрацептивных средств и т. д.). Однако такая политика дает положительные результаты лишь в том случае, если сопровождается комплексом социально-экономических мероприятий.

Некоторые зарубежные ученые, обеспокоенные беспрецедентным ускорением роста населения в развивающихся странах, сконцентрировали свое внимание на разработке политики, направленной на снижение темпов роста населения путем более целенаправленного применения методов регулирования рождаемости. Однако общественные деятели большинства стран мира понимают проблему народонаселения не столь упрощенно. И хотя сейчас планирование размеров семьи осуществляется примерно в 70 странах (это в основном страны Африки, Азии и Латинской Америки), тем не менее рост населения во многих из них рассматривается как важный фактор увеличения общественного богатства. Опрос, проведенный в 1984 г. на Всемирной конференции по народонаселению в Мехико, показал, что из 165 стран (39 развитых и 126 развивающихся) в 35 стремятся к увеличению темпов прироста населения (в том числе в 24 развивающихся странах), в 75 удовлетворены существующим положением (в том числе в 47 развивающихся) и только в 55 развивающихся странах говорят о желательности более низких темпов прироста населения.

В 1798 г. английский священник Т. Р. Мальтус в книге «Опыт о законе народонаселения», изложил реакционную по своей сути концепцию абсолютного перенаселения, согласно которой население будто бы растет значительно быстрее, чем средства существования. Весь ход развития человечества доказал полную несостоятельность мальтузианской и ей подобных концепций, в которых утверждалось, что демографические факторы оказывают решающее влияние на социально-экономическое развитие различных стран. Классики марксизма-ленинизма показали, что процессы, связанные с народонаселением, зависят в первую очередь не от законов природы, а от законов общественного развития.

Реальное решение проблем народонаселения связано с коренными социально-экономическими преобразованиями, освобождением национальной экономики от иностранной зависимости, развитием народного образования, науки и культуры, ликвидацией архаических пережитков в быту и т. д. Проведенные экономистами подсчеты показывают, что природные ресурсы планеты при условии их рационального использования способны удовлетворить потребности гораздо большего числа людей, чем живет в настоящее время на Земле и будет жить в будущем.

КАК УВИДЕТЬ МОНОПОЛЬ

М.В.Курик, О.Д.Лаврентович

Использование аналогий как метод научного познания — характерная черта физики. Блестящий пример умелого применения этого метода оставил в истории науки Дж. Максвелл, автор классической теории электромагнетизма, сопоставивший ее с гидродинамикой несжимаемых жидкостей. Он первым из естествоиспытателей специально подчеркнул значение этого подхода: «Для составления физических представлений следует освоиться с существованием физических аналогий. Под физической аналогией я понимаю то частное сходство между законами двух каких-нибудь областей науки, благодаря которому одна является иллюстрацией для другой»¹.

История повторяется, и подобно тому, как много лет назад теория Максвелла нашла аналогию в гидродинамике, современная теория поля в наши дни также оказалась тесно связанной с физикой жидкостей, правда, уже анизотропных (к которым относятся сверхтекучий³ Не и жидкие кристаллы). Сегодня специалисты уже не сомневаются в том, что структурные особенности в квантовой теории поля (элементарные частицы) и в жидких кристаллах (дефекты) можно описать в рамках нового общего подхода, основанного на использовании топологических методов.

Одним из наиболее интересных объектов, продемонстрировавших плодотворность такого подхода, стали монополярные структуры, выступающие в роли гипотетических магнитных зарядов (полюсов) в теории поля и особых топологических «дефектов» в жидких кристаллах. О теоретическом аспекте этой топологической аналогии уже шла речь на страницах «Природы»². Нам же хотелось бы рассказать о том, как можно экспериментально исследовать монополи в жидких кристаллах, иными словами, как создавать структурные модели магнитных зарядов, воочию наблюдать их и изучать их свойства. Несомненное преимущество жидкокристаллических монополей заключается в том, что их можно непосредственно увидеть — для этого нужны лишь поляризационный микроскоп, в котором о свойствах объекта судят по изменению поляризации либо прошедшего через него, либо отраженного от него свето-



Михаил Васильевич Курик, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией фотоники Института физики АН Украинской ССР. Один из авторов нового метода бессеребряной фотографии. Область научных интересов — фотоника органических соединений и физика жидких кристаллов.



Олег Дмитриевич Лаврентович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник того же института. Занимается исследованиями дефектов в жидких кристаллах. Награжден медалью АН УССР с премией для молодых ученых.

¹ Максвелл Дж. К. Избр. соч. по теории электромагнитного поля. М., 1954. С. 12.

вого пучка, а также покрывное стеклышко, капля глицерина, немного шампуня «Лецитиновый», ну и, конечно же, жидкий кристалл.

Однако прежде чем рассказать, как из всего этого создается монополю, напомним кратко, что же это такое.

МАГНИТНЫЙ МОНОПОЛЬ

Это, пожалуй, один из самых загадочных физических объектов. О магнитных полюсах упоминал еще в 1269 г. П. Перегрин, автор наиболее ранних попыток экспериментальных исследований в области магнетизма. Однако подтвердить существование изолированных магнитных зарядов за прошедшие семь веков не удалось никому, и они по-прежнему остаются чисто умозрительными построениями. Тем не менее их поиски продолжаются и в наши дни. Объясняется это просто: обнаружение магнитных полюсов (или, наоборот, доказательство невозможности их существования) позволило бы ответить на многие принципиальные вопросы естествознания. В частности, обнаружение магнитных зарядов было бы первым серьезным экспериментальным подтверждением теорий Великого объединения, единым образом описывающих электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия. В этих теориях, как правило, магнитные монополи «равноправны» с привычными положительными или отрицательными изолированными электрическими зарядами.

Современные теоретические представления о магнитных зарядах восходят к работе П. Дирака³. Монополю Дирака можно рассматривать как «конец» бесконечно длинного и бесконечно тонкого соленоида. Магнитное поле $\vec{H}$ вокруг монополя направлено параллельно (или антипараллельно — в зависимости от знака заряда) радиусам-векторам, проведенным из его центра, т. е. напоминает распределение электрического поля вокруг точечного электрического заряда. Однако аналогия эта неполная — из-за «нити», выходящей из монополя Дирака⁴. Иными сло-

вами, монополю Дирака представляет собой точечную особенность магнитного поля $\vec{H}$, на которой обрывается полубесконечная линейная особенность вектора-потенциала $\vec{A}$.

Именно такие структуры, оказываясь, могут существовать в жидких кристаллах смектического и холестерического типов, отличительной особенностью которых является слоистая структура. Векторные поля $\vec{H}$ и $\vec{A}$ заменяются в жидких кристаллах распределениями векторов, описывающих ориентацию составляющих их молекул. С помощью специальных ухищрений удастся добиться того, чтобы эти распределения воспроизводили поля вблизи изолированных электрического и магнитного зарядов, т. е. содержали бы точечный дефект или точечный дефект, соединенный с линейным. Но предварительно несколько слов об особенностях жидких кристаллов со слоистой структурой.

СЛОИСТЫЕ ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

Наиболее просто слоистая структура выглядит в так называемой А-фазе смектического жидкого кристалла, или, как принято говорить, в смектике А. Смектик А, как и любой жидкий кристалл, характеризуется упорядоченной ориентацией молекул, напоминающих по форме эллипсоиды. Кроме того что молекулы ориентированы в одном направлении, в смектике А они еще образуют слои. Каждый такой слой имеет толщину, близкую к длине молекулы (молекулы вытянуты вдоль направления, перпендикулярного плоскости слоя) и представляет собой своеобразную двумерную жидкость, поскольку в пределах слоя центры молекул располагаются неупорядоченно.

По своим оптическим свойствам смектик А — это оптически анизотропная среда с выделенной оптической осью, которая направлена всюду вдоль длинных осей молекул и, следовательно, совпадает с нормалью $\vec{n}$ к слоям. Если в такой среде упорядоченность молекул нарушается, искажается и оптическая ось, что позволяет сравнительно просто, наблюдая за жидкими кристаллами через микроскоп, выявлять и исследовать разнообразные дефекты упорядоченности их молекул.

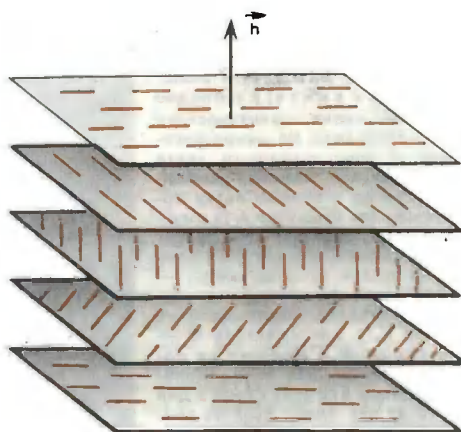
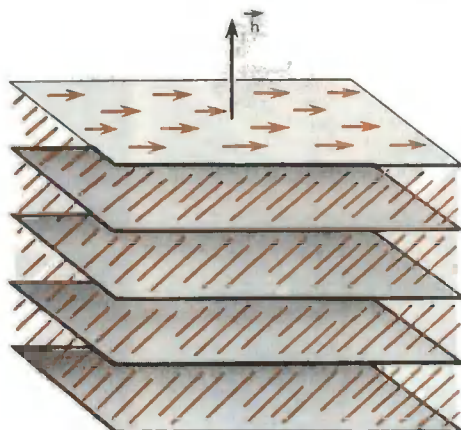
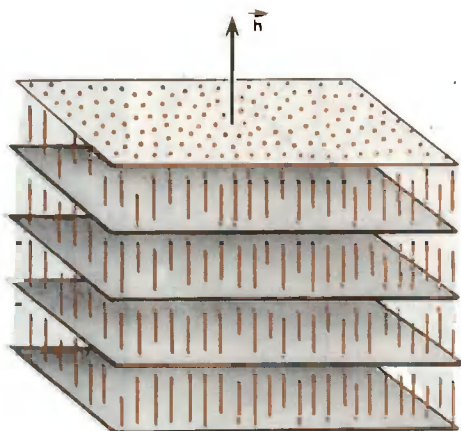
Из-за того что структура смектика А регулярна лишь вдоль одного из трех возможных направлений, порядок в ориентации молекул нарушается в нем довольно легко, особенно если при этом сохраняется состояние между слоями.

² Монастырский М. И. Монополи и вихри: от Дж. Максвелла до наших дней // Природа. 1985. № 5. С. 62—70.

³ Дирак П. А. Квантовые сингулярности в электромагнитном поле // Монополю Дирака / Под ред. Б. М. Болотовского и Ю. Д. Усачева. М., 1970. С. 40—57.

⁴ Подробнее об этом см. упомянутую статью М. И. Монастырского.

Структура слоистых жидких кристаллов. В А-фазе смектического кристалла (вверху) молекулы ориентированы перпендикулярно слоям, и их упорядоченность описывается вектором нормали $\vec{n}$ к слоям. В С-фазе (в центре) молекулы наклонены под некоторым углом к слоям, и их ориентация наряду с вектором $\vec{n}$ характеризуется еще и векторным полем $\vec{a}$ проекций молекул на поверхности слоев. Холестерические кристаллы (внизу) похожи на смектические, но отличаются от них тем, что угол наклона молекул меняется в пространстве — образуется структура, напоминающая спираль, шаг которой может в сотни и даже тысячи раз превышать толщину молекулярных слоев.

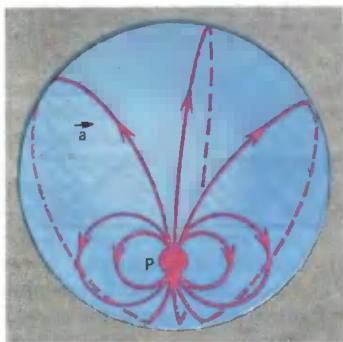
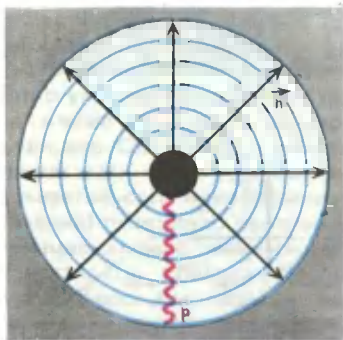
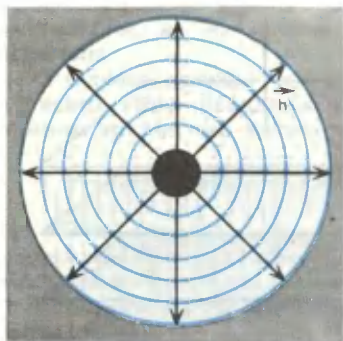


Простейшим примером деформированной структуры, в которой толщина слоев не меняется, может служить система концентрических сферических слоев. Нормали $\vec{n}$ к слоям и длинные оси молекул, а вместе с ними и оптическая ось, ориентируются вдоль радиусов сфер, образуя точечную особенность (дефект) в центре. С топологической точки зрения, этот дефект, или, как его еще называют, «еж», аналогичен электрическому заряду.

«Нити» в описанной структуре нет. Она возникает, когда смектик из А-фазы переходит в С-фазу, например, при понижении температуры образца. Вот тут-то «еж» и превращается в монополю.

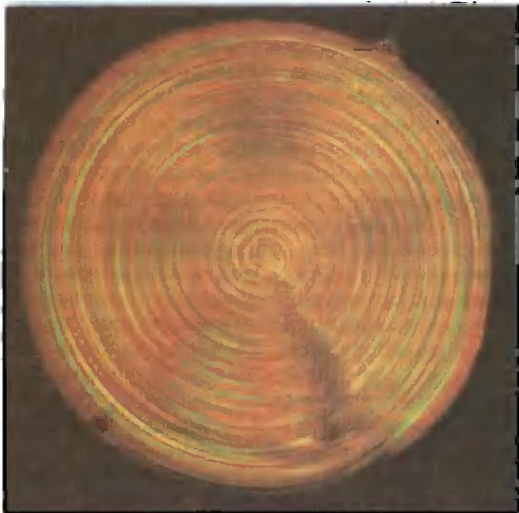
Смектик С отличается от смектика А лишь тем, что молекулы в его слоях ориентированы не вдоль нормали $\vec{n}$, а под некоторым углом к ней. Согласованный наклон молекул приводит к тому, что на поверхности каждого слоя создается векторное поле $\vec{a}$, описывающее распределение проекций длинных осей молекул. Если эти слои имеют сферическую форму, то, как можно доказать математически, в каждом из них есть особая точка, в которой направление вектора $\vec{a}$ не определено. Эти точки в разных слоях соединяются в одну сплошную линию, и в результате образуется монополю — точечный дефект в поле $\vec{n}$ с присоединенным к нему линейным дефектом («нитью»). Эта «нить» представляет собой не что иное, как винтовую дислокацию в системе слоев. Ее называют также дисклинацией (по аналогии с дислокацией), когда хотят подчеркнуть связанное с ней нарушение ориентационного упорядочения молекул. Описание монополя в жидком кристалле⁵ с точностью

⁵ Курик М. В., Лаврентович О. Д. // Журн. эксп. и теор. физики. 1983. Т. 85. С. 511—526.



«Еж» [справа вверху] и моно-
поль [справа внизу] в свободно
взвешенной капле смектического
жидкого кристалла. На микрофото-
графиях в поляризованном свете
отчетливо видны точечные особен-
ности в центре и темные ветви по-
гасания как для смектика А (вверху),
так и для смектика С (внизу),
но в последнем случае на фоне
одной из ветвей заметна «нить» —
отличительный признак монополя.
Слева приведены распределения
нормалей $\vec{n}$, а для смектика С —
еще и проекций $\vec{a}$ молекул на по-
верхности слоев. Это распределе-
ние одинаково для всех слоев и для
каждого из них имеет особую то-
чку Р. Особые точки, сливаясь в
линию, и образуют «нить» моно-
поля.

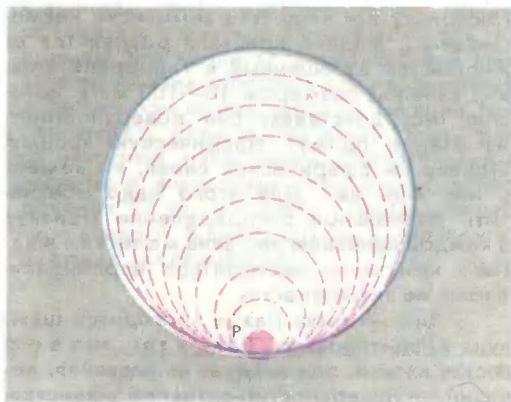
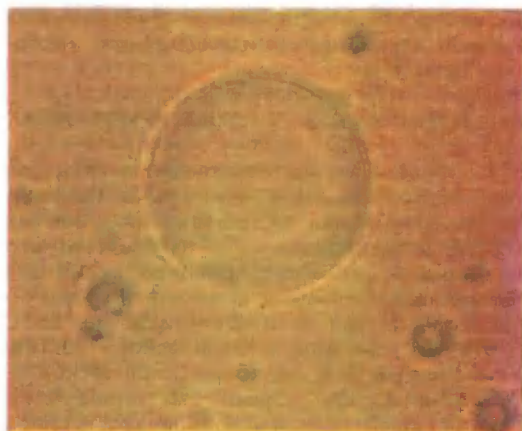




Монополю в капле холестерического жидкого кристалла. Как и в смектике, хорошо видна точечная особенность, расположенная в центре капли, и выходящая из нее «нить». Но в холестерике картина еще нагляднее: помимо особой точки и «нити», прекрасно различимой благодаря резким изменениям ориентаций молекул вблизи нее, непосредственно наблюдаются концентрические сферические «слои» с толщиной, равной шагу спирали. Каждый такой «слой» в холестерике имеет толщину несколько микрометров (примерно в тысячу раз больше, чем в смектике) и вполне различим даже в микроскоп, параметры которого далеки от рекордных.



Монополю в холестерике с расщепленной надвое «нитью». Эта ситуация соответствует расщеплению одной особой точки P на поверхности каждого из сферических слоев на два. В предельном случае, когда «нити» расположены напротив и направлены вдоль одного диаметра, эти особые точки на поверхности сферы превращаются в хорошо всем знакомые северный и южный полюса. При этом векторы проекций $\vec{a}$ направлены вдоль «параллелей».



Превращение монополя (вверху) в точечный поверхностный дефект — так называемый *бужм* (в центре) при раскручивании спирали в холестерике. Видно, что в капле исчезают слои, а «нить» стягивается в точку. Внизу приведена схема расположения молекул в меридиональном сечении капли с *бужмом*. На поверхности капли ориентация молекул сохраняется такой же, как и в случае монополя.

до обозначений совпадает с описанием монополя Дирака. При этом в роли поля $\vec{H}$ выступает поле нормалей $\vec{n}$ к слоям, в роли вектора-потенциала $\vec{A}$ — векторное поле $\vec{a}$, а в роли «нити» — дисклинация.

Итак, из топологических соображений, как говорится на словах, действительно получается, что структуры концентрических сферических слоев в смектике А напоминают электрический заряд, а в смектике С — магнитный. Но как создать такие структуры, как увидеть монополь?

Для этого и понадобятся те материалы, о которых упоминалось в начале статьи: стекло, глицерин, шампунь «Лецитиновый» и, наконец, смектический жидкий кристалл, обладающий фазами А и С, скажем, химическое соединение с труднопроизносимым названием — бутоксифениловый эфир нонилоксибензойной кислоты (БЭНК).

ДЕФЕКТЫ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ

Поместим на стекло каплю глицерина. Затем введем в нее, как в матрицу, жидкий кристалл и поставим полученный образец на поверхность нагревательного столика — обычного приспособления для исследования жидких кристаллов под микроскопом. При температуре выше 63°C БЭНК из твердокристаллического состояния переходит в жидкокристаллическое — смектик А. Как только это произойдет, перемешаем тонкой иглой или заостренной спичкой жидкий кристалл с глицерином. Поскольку эти вещества химически несмешиваемы, жидкий кристалл разделится на множество взвешенных в глицерине мелких капелек размером 10—100 мкм, которые под действием сил поверхностного натяжения примут сферическую форму. Однако ни сферических слоев, ни «ежей» в них еще нет. Для этого надо обеспечить радиальное распределение молекул в каждой капельке, заставив молекулы жидкого кристалла выстроиться перпендикулярно ее поверхности.

Здесь-то как раз и пригодится шампунь «Лецитиновый». Дело в том, что в его состав входит, как следует из названия, лецитин — поверхностно-активное вещество, способное задавать необходимую ориентацию молекул жидкого кристалла. Добавим немного шампуня в матрицу с капельками. Через некоторое время лецитин тонким слоем окружит каждую из капелек и сориентирует молекулы жидкого кристалла перпендикулярно поверхности. В результате образуется радиальное распределе-

ние — еж. Под микроскопом такой еж выглядит очень красиво — разноцветный круг, пересекаемый крестом из четырех черных полос, так называемых ветвей погасания. Как бы ни менялась ориентация каплей в пространстве, ветви погасания всегда ориентированы вдоль направлений поляризации скрещенных под прямым углом николей (поляризационных призм) микроскопа. Это обстоятельство служит признаком точного радиального распределения ориентаций молекул и связанной с ними ориентации оптической оси в капле: ветви погасания, согласно законам оптики, всегда локализованы в тех местах жидкокристаллической текстуры, где направление оптической оси совпадает с направлениями поляризации николей.

Понизим теперь температуру образца. При этом в капле произойдет фазовый переход, и смектик А превратится в смектик С. С первого же взгляда вид капелек смектика С наводит на мысль о монополях. Сферическая форма капелек и концентрическое расположение слоев в них сохранились, о чем свидетельствуют четыре ветви погасания (из-за малости угла наклона молекул оптические свойства фаз А и С отличаются слабо). Следовательно, поле $\vec{n}$ нормалей к слоям в капле смектика С по-прежнему обладает точечной особенностью. Однако теперь эта точка не изолирована, как в смектике А, а связана с тонкой контрастной линией, соединяющей центр капельки с поверхностью. Это и есть описанная выше дисклинация — аналог «нити» Дирака. Вблизи дисклинации происходят резкие изменения азимутального угла наклона молекул, сопровождаемые столь же резкими скачками показателя преломления, благодаря чему дисклинация отчетливо видна в микроскоп.

Еще более наглядную иллюстрацию монополярных структур можно обнаружить в холестерических жидких кристаллах — холестериках. Они, как и смектики, также характеризуются ориентационным упорядочением молекул, однако эта ориентация не постоянна, а меняется с некоторым периодом, образуя конфигурацию, похожую на спираль. В такой структуре можно условно выделить «слои» с толщиной, равной шагу спирали. Именно для холестериков и удалось впервые теоретически предсказать существование монополярных структур в жидких кристаллах⁶. Поскольку

⁶ Воловик Г. Е. // Письма в Журн. эксп. и теор. физики. 1979. Т. 29. С. 357—360.

толщина слоя в холестерике обычно составляет несколько микрометров и более чем в тысячу раз превышает толщину смектического слоя, с помощью микроскопа можно убедиться не только в наличии точечного и линейного дефектов, составляющих монополь, но и в концентрическом расположении самих сферических слоев. Слоистая структура видна благодаря периодическому изменению показателя преломления вдоль оси спирали.

В отличие от смектика С, в холестерике, в зависимости от того, правая спираль или левая, можно различать монополь и антимониполь — ведь именно ось спирали в холестерическом жидком кристалле служит аналогом вектора напряженности магнитного поля⁷. Более того, используя так называемые компенсированные бинарные смеси холестериков, изменяющие направление закрученности спирали при изменении температуры, удается непрерывно перейти от монополя к антимониполю в той же самой капле. На промежуточном этапе такого перехода из-за полного раскручивания спирали в капле исчезают слои, и «нить» стягивается в точку на поверхности — так называемый буджум. Дело в том, что «нить» устойчива, лишь пока толщина слоев неизменна. В отсутствие слоев уменьшение длины «нити» выгодно, так как при этом уменьшается избыточная энергия, связанная с искажением ориентации молекул. Подвержены трансформациям и монополи в смектиках С. В частности, точечный дефект в центре капли способен изменить радиальную конфигурацию на гиперболическую⁸. При этом меняется и форма линий поля $\vec{a}$.

*

Приведенные примеры показывают, что в сравнительно простых опытах с жидкими кристаллами удается воспроизвести и изучить структурные особенности столь удивительных объектов, как магнитные полюсы, моделировать и предсказывать их свойства. В связи с этим возникает вопрос: нельзя ли, исследуя монополи в жидких кристаллах, приблизить разгадку тайны магнитных зарядов? Отвечая на этот вопрос, следует отметить вызванный такими исследованиями рост интереса к глубинным причинам аналогий в теории поля

и физике конденсированных сред. Здесь, пожалуй, уместно привести еще одно высказывание об аналогиях: «Если объект А ведет себя в некоторых аспектах подобно В, то имеет смысл выдвинуть гипотезу, что так же обстоит дело и в других отношениях. Независимо от того, насколько плодотворной окажется наша гипотеза, мы чему-нибудь научимся; в противном случае мы не научимся ничему»⁹. И действительно, исследования дефектов в жидких кристаллах ввиду их сравнительной простоты позволяют специалистам в области физики конденсированных сред апробировать новые мощные методы топологии и геометрии, все шире используемые при решении самых разных задач и в других, более сложных (с точки зрения своей структурной упорядоченности) средах. Иными словами, эти исследования учат физиков топологии.

Что же касается будущего монополей в жидких кристаллах, то, даже если магнитные заряды никогда не обнаружат, дефекты, о которых мы рассказали, не останутся лишь иллюстрацией того, чего нет. Эти образования и сами по себе уникальны: ведь «нить» монополя в жидком кристалле — это не что иное, как дислокация, обрывающаяся внутри среды! Факт далеко не тривиальный, поскольку, исходя из опыта исследований обычных твердых кристаллов, традиционно считалось, что дислокации могут оканчиваться лишь на поверхности образца, но не в его объеме. Кроме того, эксперименты последних лет показывают, что и изучение капель жидких кристаллов как таковых, безотносительно к монопольным структурам, имеет важное самостоятельное значение. Оказалось, например, что капли холестерического жидкого кристалла способны самопроизвольно делиться при одном лишь изменении температуры¹⁰. Если сопоставить этот факт со многими известными биологическими аспектами жидкокристаллического упорядочения¹¹, то и здесь напрашиваются свои аналоги. Однако это тема уже других, будущих исследований.

⁹ Бунге М. Философия физики. М., 1975. С. 156.

¹⁰ Лаврентович О. Д., Настышин Ю. А. // Письма в Журн. эксп. и теор. физики. 1984. Т. 40. С. 242—245.

¹¹ См., напр.: Минц Р. И., Кононенко Е. В. Дефекты биологических жидких кристаллов // Природа. 1984. № 6. С. 56—63; Веденов А. А., Левченко Е. Б., Третьякова Л. И. Набухание: от глины к живой клетке // Природа. 1985. № 11. С. 14—25.

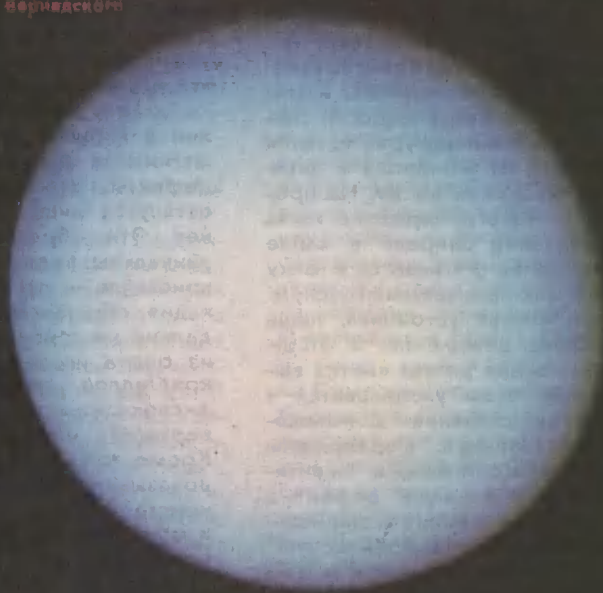
⁷ Курик М. В., Лаврентович О. Д. // Письма в Журн. эксп. и теор. физики. 1982. Т. 35. С. 362—365.

⁸ Лаврентович О. Д. // Письма в Журн. эксп. и теор. физики. 1986. Т. 43. С. 297—299.

«ВОЯДЖЕР-2» в системе Урана

Г. А. Бурба

кандидат географических наук
Институт геохимии и аналитической
химии им. В. И. Вернадского
АН СССР
Москва



Уран расположен в 19 раз дальше от Солнца, чем Земля, и почти в 2 раза дальше, чем Сатурн — ближайшая к Урану планета. Невооруженным глазом Уран на нашем небосводе почти не виден. Это первая планета, открытая с помощью телескопа. Обнаружил ее английский любитель астрономии В. Гершель чуть больше двухсот лет назад — в 1781 г. Впоследствии у Урана были найдены пять спутников, а в 1977 г. — система узких и очень

темных колец. Однако в целом наблюдения с Земли дают об Уране и его спутниках несравненно меньше сведений, чем о планетах, расположенных более близко. Первые исследования Урана¹ с помощью космиче-

ской техники выполнены 24 января 1986 г., когда близ него пролетела американская автоматическая станция «Вояджер-2», передавшая на Землю детальные снимки Урана, его колец и спутников. «Вояджер-2», запущенный с Земли в 1977 г., до

¹ Предварительные данные об изучении системы Урана с помощью станции «Вояджер-2» сообщены на XVII Конференции по Луне и планетам (Хьюстон, США,

март 1986 г.) и на XXVI Ежегодном заседании КОСПАР — международного Комитета по космическим исследованиям (Тулуза, Франция, июль 1986 г.).



Снимок Урана без светофильтра (слева); изображение планеты в условных цветах, полученное комбинацией нескольких снимков, сделанных через разные светофильтры (справа). Выделяются детали облачности, концентрические оси вращения Урана.

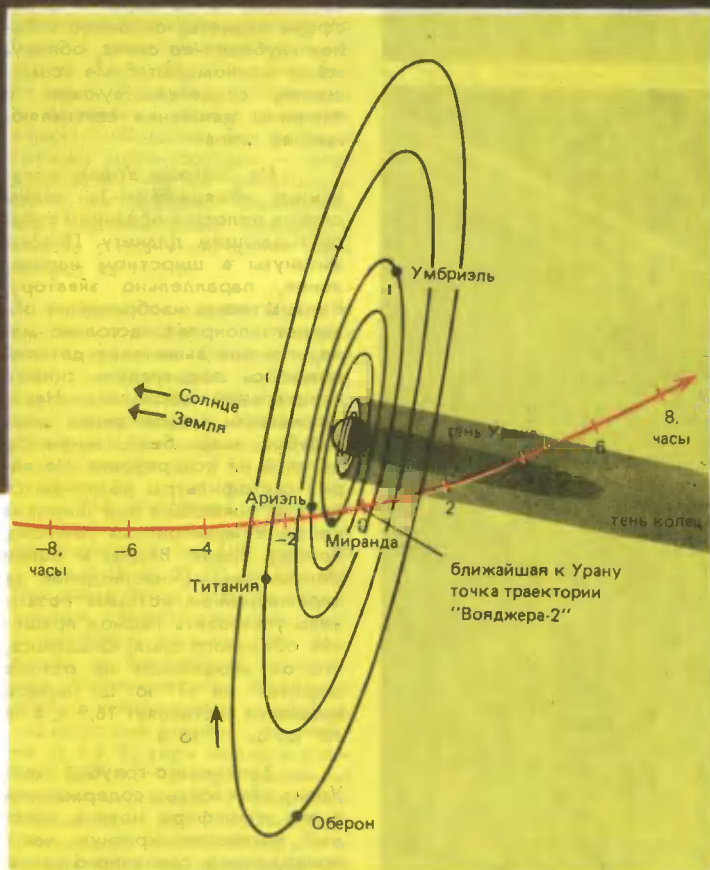


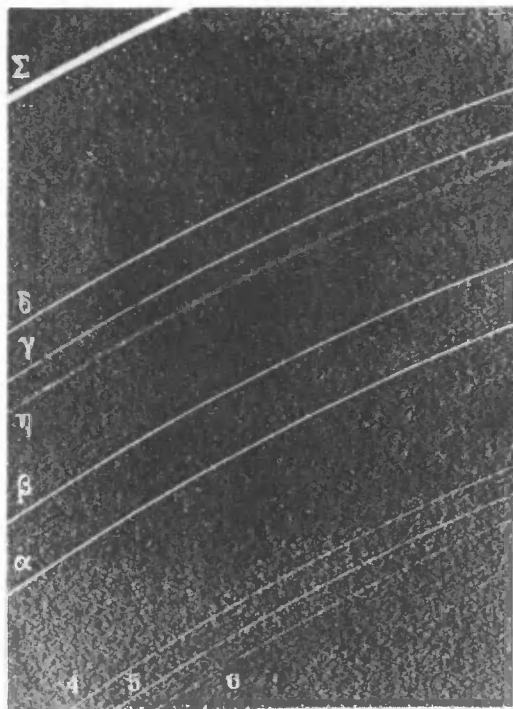
Схема пролета станции «Вояджер-2» через систему Урана.

встречи с Ураном провел исследования двух других планет-гигантов — Юпитера (в 1979 г.) и Сатурна (1981 г.)².

Почти у всех планет ось вращения примерно перпендикулярна плоскости орбиты, мак-

² Подробнее об этом см.: Бурба Г. А. Юпитер и его спутники на снимках «Вояджера-1» // Природа. 1979. № 12. С. 26—33; Он же. «Вояджер-1» в мире Сатурна // Природа. 1981. № 7. С. 92—98.

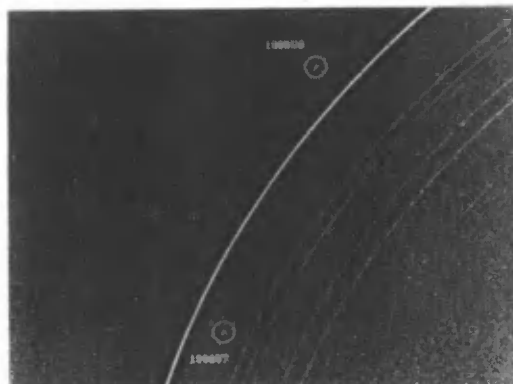
Кольца Урана со стороны, освещенной Солнцем



Кольцевая система Урана с неосвещенной стороны; вид в проходящем свете: мелкие частицы, расположенные между основными кольцами, рассеивают свет, позволяя видеть широкое кольцо вокруг планеты. Движение станции привело к тому, что звезды изобразились в виде полосок.



Два малых спутника Урана (показаны кружками), открытые по снимкам «Вояджера-2». Они движутся примерно на одинаковых расстояниях от кольца с по обе стороны от него. Из-за движения станции спутники получились в виде полосок, а не точек.



симальное отклонение от этого направления не достигает 30° . Уран составляет исключение — ось его вращения расположена почти в плоскости орбиты (отклонения от перпендикуляра — 82°), т. е. планета обращается вокруг Солнца, как бы лежа на боку. Если другие планеты уместно сравнить с движущимися вокруг Солнца волчками, то Уран напоминает колобок, перекачивающийся с боку на бок по своей орбите. Каждый из его полюсов освещается непрерывно в течение 42 лет — половины периода обращения Урана вокруг Солнца.

Просвечивание радиоволнами при заходе «Вояджера-2» за планету показало, что в верхних слоях атмосферы Урана содержится не более 6 % гелия. Установлено, что Уран окружен сплошным слоем метановых облаков, нижняя граница которых расположена на уровне, где атмосферное давление составляет 1—2 бара. В атмосфере планеты, особенно в более глубоких ее слоях, обнаружены мелкомасштабные возмущения, свидетельствующие о сложном движении составляющих ее газов.

На снимках Урана, полученных «Вояджером-2», видны слабые полосы в облачном слое, окутывающем планету. Полосы вытянуты в широтном направлении, параллельно экватору. Контрастность изображений облачного покрова настолько мала, что для выявления деталей пришлось подвергнуть снимки специальной обработке. Неворуженным глазом виден лишь голубой шар без каких-либо деталей на поверхности. Но через светофильтры различаются полосы, имеющие вид широких колец, концентричных Южному полюсу Урана. Видны и более мелкие детали, наблюдение за перемещением которых позволило установить период вращения облачного слоя. Оказалось, что он неодинаков на разных широтах: на 27° ю. ш. период вращения составляет 16,9 ч, а на 40° ю. ш. — 16 ч.

Зеленовато-голубой цвет Урана обусловлен содержанием в его атмосфере метана, который поглощает красную часть приходящего солнечного света,

оставляя преобладающим голубой цвет. На снимках, сделанных в условиях цветах, выделяется темная полярная шапка в атмосфере (сейчас Уран расположен так, что его Южный полюс находится в центре освещенного полушария). Шапка представляет собой туман или дымку — продукт химических реакций, вызванных ультрафиолетовым солнечным излучением. Одной из таких реакций может быть превращение метана в ацетилен. Другие фотохимические реакции с участием ацетилена способны привести к образованию красно-коричневых частиц, напоминающих земной смог. Полярная область Урана окружена серией постепенно светлеющих полос — широтных зон конвекции в атмосфере.

19 января 1986 г., когда «Вояджер-2» находился на расстоянии в 270 планетных радиусов от Урана ($R_U = 25\,650$ км), плазменные приборы зарегистрировали сильную магнитную бурю в радиодиапазоне на частотах 31 и 56 кГц. Это были первые данные, говорящие о наличии у Урана магнитосферы. «Вояджер-2» пересек границу магнитосферы — магнитопаузу — на расстоянии 18 R_U от планеты. Оказалось, что магнитосфера вращается вместе с планетой, делая один оборот за 17,3 ч.

Магнитное поле Урана в целом сходно с полями других планет, но большой угол (55°) между осью вращения планеты и магнитной осью делает магнитосферу Урана уникальным образованием в Солнечной системе.

Магнитосфера заполнена протонами и электронами с температурой от 100 тыс. до 1 млн К (т. е. от 10 до 100 эВ). Предполагается, что их источниками служат спутники, расположенные дальше, чем Миранда — ближайший из крупных спутников, или обширное облако нейтрального водорода, окружающее планету. На участке от 7,8 R_U (при подлете станции) до 18,3 R_U (при удалении) в магнитосфере обнаружен плазменный тор, содержащий «холодные» (около 10 эВ) и «горячие» (500 эВ) электроны. Их

максимальная плотность достигала 1 частицы/см³, т. е. была гораздо больше, чем во внешней части магнитосферы Урана.

При пересечении «Вояджером-2» плоскости колец отмечено значительное уменьшение энергии электронов (до 1 эВ); эффект можно объяснить влиянием разреженного кольца из частиц микронного размера, простирающегося до расстояния в 5 R_U от планеты. Такое же «охлаждение» электронов станция зарегистрировала на расстояниях от Урана 6,8 R_U (при подлете) и 5,3 R_U (при удалении).

Как и Земля, Юпитер и Сатурн, Уран обладает протяженным магнитосферным хвостом, направленным в сторону от Солнца. Удаляясь от планеты, станция находилась внутри этого хвоста и 4 раза пересекла нейтральный слой, разделяющий хвост на области с противоположно направленным магнитным полем. Пересечения произошли на расстояниях 26, 40, 60 и 66 R_U .

Затем, находясь в 80 R_U от Урана, «Вояджер-2» прошел через магнитопаузу, после чего еще несколько дней находился в пределах переходного слоя, своего рода внешней оболочки магнитосферы, где поток солнечного ветра нерегулярен из-за взаимодействия с магнитосферой планеты.

Электроны и протоны высоких энергий распределены в магнитосфере Урана неравномерно; существуют области, обедненные ими. Эти области связаны с зонами поглощения заряженных частиц спутниками Урана — Мирандой, Ариэлем и Умбриэлем. Из-за сильного наклона магнитной оси относительно оси вращения планеты спутники и кольца Урана поглощают заряженные частицы из различных слоев магнитосферы по мере вращения Урана. В пределах орбиты Миранды приборы отметили наличие лишь электронов, а вот протонов высоких энергий, образованных космическими лучами, зарегистрировано не было.

У Урана обнаружены радиационные пояса, сходные по интенсивности с земными. Спутники, движущиеся в пределах этих поясов, поглощают заряженные частицы, что отмечено

по приборам, зафиксировавшими резкое падение интенсивности ионных и электронных потоков на расстояниях, соответствующих орбитам этих спутников.

Просвечивание пространства близ Урана радиоволнами позволило выявить развитую ионосферу с несколькими четко выделяющимися слоями. Высота их неодинакова над разными сторонами планеты. Зарегистрированы интенсивные электромагнитные и электростатические шумы, связанные с радиоизлучением Урана. Наиболее заметны такие шумы в пространстве между орбитами Умбриэля и Титании, на расстоянии около 12 R_U от планеты.

Излучение Урана в радиодиапазоне столь же богато всплесками, как у Юпитера и Сатурна. Периодическая повторяемость картины радиоизлучения на определенных частотах позволила заключить, что период вращения Урана вокруг оси составляет примерно 17 ч.

На тысячи километров над верхней границей атмосферы на дневной стороне Урана простирается область атомарного и молекулярного водорода, излучающая в ультрафиолетовой части спектра. Над ночной стороной планеты такое излучение отсутствует. По-видимому, оно возникает под действием солнечного света, хотя по теоретическим расчетам этого недостаточно, чтобы привести к зарегистрированной интенсивности излучения.

В 1977 г. при наблюдениях с Земли были обнаружены узкие темные кольца, окружающие Уран. Это стало одним из наиболее впечатляющих открытий в планетной астрономии.

Исследования колец Урана с помощью космической станции «Вояджер-2» в 1986 г. включали получение телевизионных изображений, просвечивание радиоволнами, наблюдение затмений звезд кольцами и фотометрические измерения. Было обнаружено несколько новых узких колец, рассеянное (диффузное) вещество между узкими кольцами, спутники, движущиеся близ краев колец, выявлена детальная структура

отдельных колец и оценено распределение частиц в них по размерам. При прохождении «Вояджера-2» через плоскость, в которой расположены кольца, на большом расстоянии от самих колец станция пересекла довольно разреженный пылевой слой толщиной в несколько тысяч километров. Зарегистрировано много столкновений с пылинками — до 30 ударов в секунду. Слой как бы окутывает кольцевую систему, простираясь выше, ниже и дальше нее.

С помощью фотополариметра, установленного на борту станции, были выполнены наблюдения двух затмений звезд кольцами Урана. В одном случае звезда прошла за системой колец по хорде, и свет от нее был перекрыт двумя внешними кольцами — ϵ и δ . Во втором случае звезда по радиусу пересекла систему колец по обе стороны от планеты. Наблюдения позволили установить детальную структуру кольцевых образований вокруг Урана. Обнаружено, в частности, что внешнее, самое широкое кольцо ϵ не однородно, а состоит из ряда концентрических структур.

Когда для земного наблюдателя станция находилась за планетой, радиоволны шли к Земле сквозь кольца. Радио-



Общий вид спутника Миранды (вверху). Выделяются два главных типа поверхности: светлый (древний) с кратерами и темный (более молодой) покрытый тектоническими грядками и бороздами.

Зона контакта древней кратерной поверхности и более молодой полосчатой измененности на Миранде. Диаметр крупного кратера в нижней части снимка — 25 км.

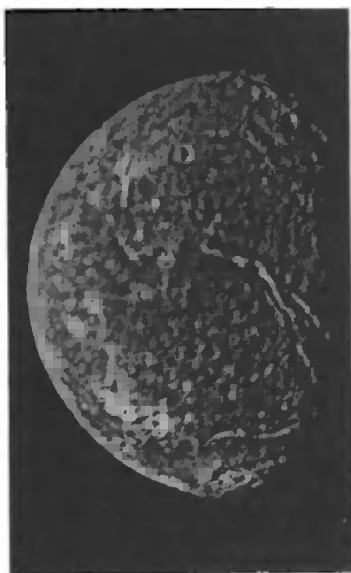




Сложная поверхность Ариэля — свидетельство разнообразия происходивших на этом спутнике геологических процессов. Кратеры окружены светлыми выбросами, вероятно, состоящими из льда. Обращает на себя внимание множество тектонических желобов.

Поверхность Титании. Она сходна с поверхностью Ариэля, однако на Титании меньше тектонических желобов, хотя они довольно крупные.

Темное, покрытое однообразными кратерами Южное полушарие Умбриэля. Яркое пятно близ экватора (вверху) может быть отложением внутри крупного кратера.



просвечивание колец волнами длиной 13 и 3,6 см показало, что самое внешнее кольцо в 4,5 раза плотнее других колец.

Снимки колец Урана, полученные «Вояджером-2», подтвердили наличие широкой более прозрачной внешней зоны и узкой плотной внутренней зоны в кольце η . Кроме того, обнаружено неизвестное ранее десятое кольцо, расположенное примерно на полпути между кольцами ϵ и δ . Десятое кольцо различается очень слабо. Оно располагается вблизи орбиты открытого по снимкам «Вояджера-2» небольшого спутника, получившего обозначение 1986 U7.

При удалении станции от Урана телекамеры наблюдали кольца в проходящем (а не в отраженном, как было при полете) свете. На таких снимках

ясно видна непрерывная кольцевая система, включающая узкие яркие кольца, известные по наблюдениям с Земли. Между ними расположены более разреженные участки, которые, по предположениям, заполнены очень мелкими пылевыми частицами, плохо отражающими, но сильно рассеивающими свет. Этот результат «Вояджера-2» заставляет вспомнить, что наряду с широко распространенным представлением о системе из нескольких узких (до 10 км) колец вокруг Урана, развиваемым американскими астрономами из Корнеллского университета и Лоуэлловской обсерватории, существует гипотеза индийских астрономов из Кавалурской обсерватории о системе очень разреженных широких колец, в пределах которых имеются узкие более плотные участки³.

По обе стороны от кольца ϵ обнаружены спутники «пастухи», обозначенные 1986 U7 и 1986 U8. Своим гравитационным воздействием они удерживают частицы, составляющие кольцо, от разлета. Диаметр спутников, по оценкам, составляет 20 и 30 км соответственно. Кроме них, обнаружено еще несколько небольших спутников, предварительные сведения о которых даны в таблице. (Несколько новых спутников в таблицу не вошли, поскольку о них пока не опубликовано каких-либо данных.)

Надо сказать, что о пяти больших спутниках Урана до полета «Вояджера-2» было мало что известно: знали параметры орбит, диаметры (но ненадежные, с очень большими вариациями величины), а также некоторые характеристики глобального масштаба, определенные весьма грубо; речь идет о яркости поверхности, наличии полос поглощения водяного инея или льда в инфракрасном диапазоне спектра. Такая ситуация была вполне объяснима значительной удаленностью Урана от Земли.

Характеристика колец и спутников Урана

Кольца	Спутники	Расстояние от центра Урана		Диаметр спутников, км	Геометрическое альbedo (доля отражаемого света), %
		в тыс. км	в радиусах Урана		
6		41,9	1,62		5
5		42,3	1,63		5
4		42,6	1,64		5
Альфа (α)		44,8	1,73		5
Бета (β)		45,7	1,76		5
Эта (η)		47,2	1,82		5
Гамма (γ)		47,7	1,84		5
Дельта (δ)		48,3	1,86		5
1986 U7		49,6*	1,92	20*	—
Эпсилон (ϵ)		51,2	1,98		5
1986 U8		53,0*	2,04	30*	—
1986 U3		61,1*	2,4	30—40*	—
1986 U1		65,4*	2,5	60—80*	—
1986 U4		69,1*	2,7	30—40*	—
Миранда		130	5,0	480*	22**
Ариэль		192	7,5	1600*	30**
Умбриэль		267	10,3	1200*	16*
Титания		439	17,0	1600*	18**
Оберон		586	22,6	1500*	18**

* По данным «Вояджера-2».

** Оценка, исходя из диаметра, полученного по данным «Вояджера-2», и по звездной величине (наблюдения с Земли). Остальные величины указаны на основе данных наблюдений с Земли.

Теперь об этих космических телах известно гораздо больше. Мы рассмотрим пять больших спутников Урана в порядке их удаления от планеты.

Для всех характерен нейтральный серый цвет, иногда с коричневатым оттенком. Изучение снимков этих спутников показало, что внутренняя геологическая активность была наибольшей у Миранды — ближайшего среди них к Урану. Удаляясь от планеты и переходя к Ариэлю, Титании и, наконец, к Оберону, мы видим на снимках следы все меньшей геологической активности. Умбриэль, расположенный между Ариэлем и Титанией, представляет исключение — на его поверхности не обнаружено каких-либо проявлений внутренней геологической активности.

Миранда исследована наиболее подробно. По размеру она близка к спутнику Сатурна Энцелад, поперечник которого равен 500 км. В опреде-

ленной мере заметно сходство и в строении поверхностей этих двух спутников. Около половины Южного полушария Миранды занято изогнутыми светлыми и темными полосами — системами чередующихся тектонических долин и гряд. Другая половина представляет собой светлую область, покрытую кратерами диаметром от 5 до 30 км. Эти древние кратерные участки расположены выше равнин. В целом поверхность Миранды несет следы весьма интенсивных геологических процессов. На ней имеются древние участки, покрытые кратерами, крупные кольцевые детали, а также более молодые районы с малым числом кратеров. Все типы местности пересечены молодыми разломами в виде уступов гигантской (до 5 км) высоты. По всем признакам геологическая активность спутника имела несколько периодов, четко читаются следы тектонических сжатий, в не-

³ Подробнее об этом см.: Исследования колец Урана // Природа. 1979. № 10. С. 101—102.

которых местах поверхность «просела».

Ариэль — наиболее светлый из спутников Урана. На его поверхности видны следы трех крупных стадий геологического развития, но поверхность менее сложная, чем у Миранды. Большая ее часть плотно усеяна кратерами диаметром 5—10 км. Вокруг некоторых имеются светлые гало и лучи. Поверхность пересекают многочисленные тектонические долины и уступы. Исследователи из группы по анализу снимков, полученных «Вояджером-2», считают, что обширный район разломов на Ариэле — результат расширения спутника и растяжения его коры. Имеются отдельные участки с малым количеством кратеров, они заполнены более молодым материалом. Но на них расположены уступы и ложбины. Возможно, образование некоторых слабоизвилистых уступов связано с течением жидкости по поверхности. Итак, на Ариэле видны следы по крайней мере трех геологических эпох: древней (интенсивная метеоритная бомбардировка), промежуточной (образование раз-

ломов) и молодой (отложение равнинного материала).

Южное полушарие следующего спутника — Умбриэля — представляет собой поверхность, чрезвычайно плотно покрытую кратерами. Большинство из них — плоскодонные с горкой в центре. Диаметр двух наибольших кратеров — 140 и 110 км. Из всех спутников Урана у Умбриэля наиболее темная поверхность, причем яркость ее однородна, здесь нет кратеров со светлыми лучами или гало, которые столь многочисленны на других спутниках Урана. Столь унылое однообразие темных кратеров поразительно напоминает спутник Сатурна Рею и спутник Юпитера Каллисто.

Титания — наиболее крупный из спутников Урана. Наряду с многочисленными кратерами диаметром до 200—300 км на его поверхности обнаружены признаки тектонической активности, приведшей к формированию широких плоскодонных долин — желобов. Длина их достигает 1500 км, ширина — до 75 км. Склоны желобов, обращенные к Солнцу, чрезвычайно яркие, что указывает на

наличие в них светлого материала, возможно инея.

Оберон — наиболее удаленный от Урана спутник. По диаметру он лишь на 100 км меньше Титании. На его поверхности видны кратеры, многие из которых окружены светлыми лучами — материалом, выброшенным на поверхность из более глубоких слоев во время процесса образования кратеров. Вероятнее всего, это лед. Выделяются несколько крупных кратеров с центральными горками. У одного из них днище частично покрыто очень темным материалом. Возможно, это льдистый материал, богатый углеродом, излившийся на дно кратера из недр Оберона. На фоне темного неба на снимке видна гора высотой около 6 км. Происхождение такого гиганта пока не получило убедительного объяснения.

После пролета вблизи Урана «Вояджер-2» продолжает двигаться к окраине Солнечной системы. В 1989 г. он должен встретиться с последней в программе своего полета планетой — Нептуном и его спутниками.

НОВОСТИ НАУКИ

Техника

Конец среднего гринвичского времени

В ноябре 1985 г. Королевская Гринвичская обсерватория (Великобритания) объявила, что Великобритания не будет больше ведущей державой в опосредовании времени. С 60-х годов нашего столетия среднее

гринвичское время измерялось шестью атомными часами с точностью до миллиардной доли секунды. Начиная с нынешнего года вакуумные резервуары, составляющие основу атомных часов и стоящие более 30 тыс. долл. каждый, не будут восстанавливаться, после того как придут в негодность. Освободившиеся средства обсерватория планирует направить на астрономические исследования.

В конце концов, среднее

гринвичское время будет заменено координированным универсальным временем, которое уже в течение 13 лет вырабатывается международной сетью из 150 часов, расположенных по всему миру. Универсальное время «хранится» в Международном бюро времени, в Париже.

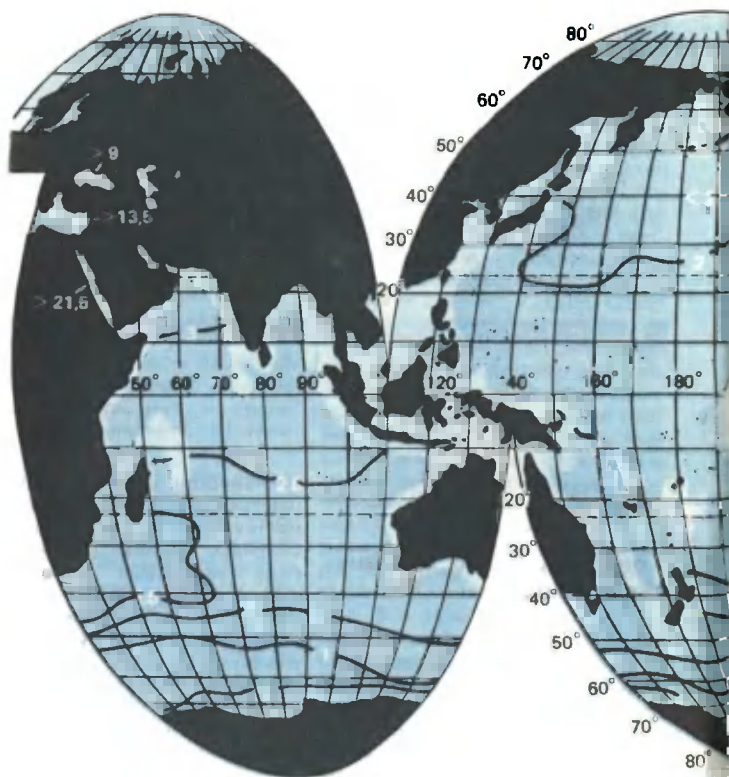
Current Contents. 1986. Vol. 26.
№ 4. P. 10 (США).

ГЛУБИННЫЕ ВОДЫ ЧЕРНОГО МОРЯ

О.И.Мамаев



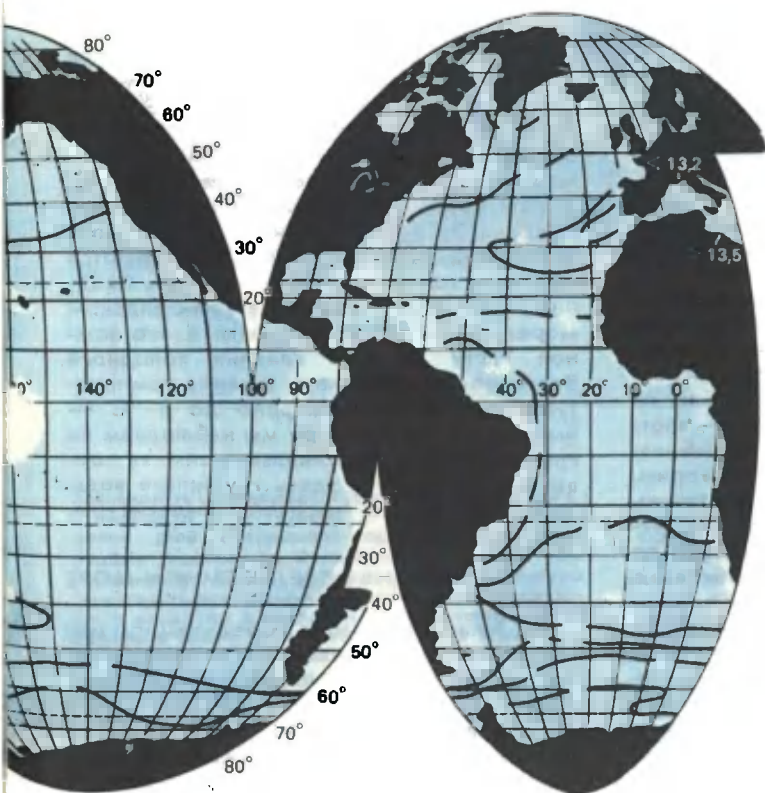
Олег Иванович Мамаев, доктор географических наук, профессор кафедры океанологии географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист в области физической океанографии. Автор ряда монографий и статей в журнале «Природа».



Изучение гидрологии Черного моря началось около 100 лет назад, когда адмирал С. О. Макаров, знаменитый флотоводец и океанограф, провел первые исследования водообмена Черного моря с Мраморным через пролив Босфор. Однако систематическое изучение гидрологии этого водного бассейна началось уже при советской власти — с известных экспедиций под руководством академиков Н. М. Книповича (1922—1928) и Ю. М. Шокальского (1923—1925). С тех пор экспедиционные и теоретические исследования советских ученых практически не прекращались. Совсем недавно, в 1974—1980 гг., они были проведены по программе СКОИЧ (Совместные Комплексные Океанографические Исследования Черного моря) и дали немало новых сведений о Черном море и его глубинных водах; в дальнейшем был реализован проект «Черное море-85» в рамках программы «Интеркосмос» с участием советских космонавтов.

С чем связан непрекращающийся интерес океанографов и ученых смежных геофизических и биологических специальностей именно к Черному морю? Дело в том, что Черное море отличается резко аномальным характером океанографической структуры по отношению ко всему Мировому океану. Основная черта этой аномалии в том, что примерно с глубин 100—200 м и до самого дна, т. е. до глубин 2000 м и более, море заражено сероводородом. Здесь отсутствует кислород и, как следствие, животная и растительная жизнь. Все это говорит, естественно, о застойности (стагнации) глубинных вод, их слабом перемешивании с лежащими выше водами и, следовательно, о весьма значительном возрасте, или, как говорят в океанологии, «времени пребывания», вод в указанных условиях.

Другая, менее известная, особенность глубинных вод Черного моря — относительно высокая их температура, достигающая на самых больших глубинах, вплоть до



Распределение температуры воды в Мировом океане на глубине 1000 м (области меньшей глубины обозначены светлым тоном). Значения температуры (в градусах Цельсия) указаны большими цифрами. В Южном океане зимой южнее 60-й параллели температура на поверхности опускается ниже 1°C. Именно здесь формируются основные массы Мирового океана, которые распространяются на север и перемешиваются с лежащими выше водами. На глубине 2000 м температура нигде не превышает 3°C, за исключением Северной Атлантики, где она составляет 3,5—4°C за счет влияния вод Средиземного моря, поступающих в океан через Гибралтарский пролив. В самом Средиземном море температура в восточной и западной котловинах на глубине 2000 м примерно равна температуре воды на поверхности в зимнее время (около 13°C). Эти водные массы формируются путем прямого опускания (конвекции). Что касается Черного моря, то температура его глубинных вод около 9°C — они формируются за счет поступления средиземноморских вод через пролив Босфор.

2000 м, до 9 °С. Очевидно и это свидетельствует в пользу большого возраста глубинных вод: они не нагреваются летом и не охлаждаются зимой, не имея необходимого контакта с приповерхностными водами, температурный режим которых зависит от резких сезонных колебаний температуры воздуха.

И все же почему температура воды на глубинах около 2 км составляет именно 9 °С, не больше и не меньше? И какое отношение имеют возраст глубинных вод и их температура к водообмену Черного моря с Мировым океаном, осуществляемому через мелководный пролив Босфор? Основная цель данной статьи — ответить на эти вопросы, а также показать, что они имеют прямое отношение к изучению климатического состояния океана, т. е. к многолетним изменениям гидрологических условий в результате взаимодействия океана с атмосферой.

МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛУБИННЫХ ВОД И ТЕМПЕРАТУРА ОКЕАНА

Если на поверхности океана происходит процесс охлаждения, то за счет понижения температуры плотность воды увеличивается и при определенных условиях, зависящих от того, какое количество тепла может быть отдано в атмосферу, становится большей, чем плотность в нижележащих слоях. В результате происходит нарушение устойчивой стратификации (расслоения) водных масс и воды приповерхностных слоев моря перемешиваются с глубинными. Такой процесс называется вертикальной термической конвекцией. Очевидно, чем больше понижается температура на поверхности моря, тем большие глубины затрагивает процесс перемешивания. Соленость морской воды — количество солей в граммах на 1 кг воды — также влияет на плотность воды и стратификацию, но об изменениях солености мы здесь не говорим.

О предполагаемой глубине проникновения вертикальной термической конвекции можно судить в первую очередь по температуре воды на этой глубине, а именно: если на поверхности моря в некоторый предшествовавший момент времени наблюдалась такая же температура, что и на глубине, то с известной долей вероятности можно утверждать, что глубинная вода в этом же месте образовалась в процессе вертикальной конвекции. Однако это не единственный механизм передачи

температурных колебаний на большие глубины: глубинные воды могут быть и адвективного происхождения, принесенными в данную область океана откуда-то извне, в горизонтальном направлении.

Чтобы разобраться в соотношении этих процессов, формирующих глубинные воды, посмотрим на карту распределения температуры в океане на глубине 2000 м. Эта глубина выбрана нами с учетом того, что максимальная глубина Черного моря 2210 м. В обширной области тропиков, субтропиков и умеренных широт, между параллелями 40° северной и южной широт, на площади, составляющей 67 % поверхности всего Мирового океана, температура воды на глубине 2000 м в самом океане (не считая замкнутых морей) нигде не превышает 3—3,5 °С, за исключением пригибралтарского района Атлантического океана, где она доходит до 4—4,5 °С. Очевидно, ни в одной точке этой обширной области воды на глубине 2000 м не могут быть сформированы в результате вертикальной термической конвекции, поскольку температура воды на поверхности океана здесь никогда не достигает столь малой величины.

Воды в рассматриваемой области на больших глубинах имеют адвективное происхождение: они принесены из районов высоких широт, в основном из Южного океана. Именно в высоких южных широтах температуры зимой на поверхности океана и на глубине около 2000 м примерно совпадают и составляют 1—2 °С. В этой области, главным образом в море Узделла и в южной части Индийского океана, за счет конвекции формируются наиболее холодные глубинные воды. Сходная картина наблюдается в Гренландском море: зимой на поверхности в его южной части за счет влияния холодного Восточно-Гренландского течения температура понижается примерно до 3 °С — именно эту температуру мы наблюдаем на глубине 2000 м. Вертикальная зимняя конвекция формирует здесь глубинные воды несколько более высокой температуры, чем в Антарктиде.

КОНВЕКЦИЯ В СРЕДИЗЕМНОМ МОРЕ

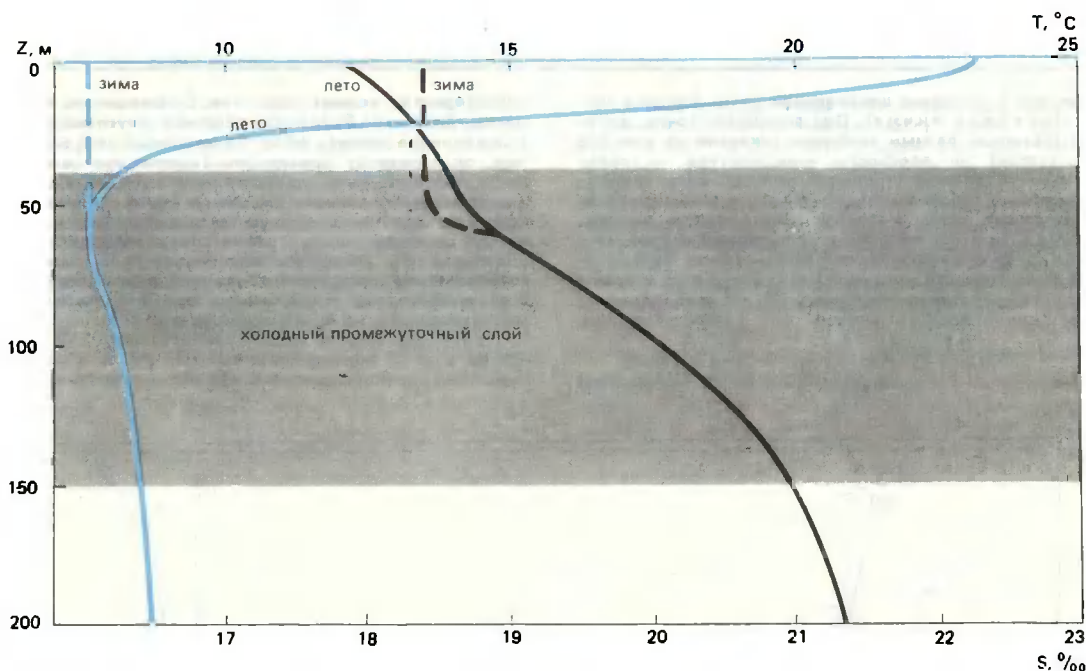
А какова ситуация в Средиземном море — наиболее близком к интересующему нас Черному морю водном бассейне? Здесь температура глубинных вод значительно выше: около 13 °С в западной котловине (Алжиро-Провансальской) и выше 13,5 °С в восточных котловинах

(Ионической и Левантийской). Эти теплые глубинные воды формируются процессами прямой конвекции: зимой на поверхности Средиземного моря вода охлаждается именно до таких температур.

Гипотеза о конвективном происхождении глубинных вод Средиземного моря была проверена экспериментально в январе — марте 1969 г. в Лионском заливе во время международной экспедиции под названием MEDOS (от фр. *Mediterranee Occidental* — Западное Средиземное море). В этом районе в результате сильного зимнего выхолаживания вод под воздействием зимнего стокового ветра долины Роны — мистралья — наблюдался процесс быстрой конвекции, проникавшей до самого дна моря. Сходная картина конвекции наблюдается и в Ионической, и Леван-

тийской котловинах: глубинные воды образуются в течение одной зимы (конечно, не обязательно каждую зиму) и даже за более короткий срок.

Причина столь быстрого возникновения конвекции в этом районе кроется в том, что за счет отрицательного годового пресного баланса Средиземного моря (испарение с поверхности моря за год превышает суммарный сток рек и количество осадков) вода на поверхности моря имеет аномально высокую соленость по сравнению с основной массой вод Мирового океана. Перепад солености по вертикали невелик, и, как следствие, в этом направлении наблюдается слабая гидростатическая устойчивость: она легко разрушается во время достаточно интенсивных северных ветров, понижающих температу-



Зависимость температуры T (сплошные кривые) и солености S от глубины Z в верхнем 200-метровом слое центральной части Черного моря (глубже температура и соленость монотонно увеличиваются). Летом распределение температуры характеризуется наличием максимума на поверхности и минимума в холодном промежуточном слое. Осенью и зимой за счет теплоотдачи в атмосферу температура на поверхности быстро уменьшается, плотность поверхностных слоев увеличивается и возникает конвекция, перемешивающая верхний слой толщиной 60—70 м. В результате температурный

минимум на глубине 60 м сглаживается, и распределение температуры и солености в верхнем слое становится зимой практически однородным по глубине (пунктирные линии). На большие глубины процесс осенне-зимней конвекции не проникает, здесь имеет место очень медленное перемешивание со средиземноморскими водами. Весной в верхнем слое начинает восстанавливаться летняя стратификация вод, и вновь появляется холодный промежуточный слой — своеобразный «реликт» зимней вертикальной конвекции.

ру вод, а следовательно, повышающих их плотность на поверхности моря.

Из-за частого (возможно, даже ежегодного) конвективного глубокого перемешивания глубинные воды Средиземного моря обновляются достаточно часто; следовательно, их возраст, или собственное «время существования», невелик по сравнению с другими районами океана.

ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ЧЕРНОГО МОРЯ

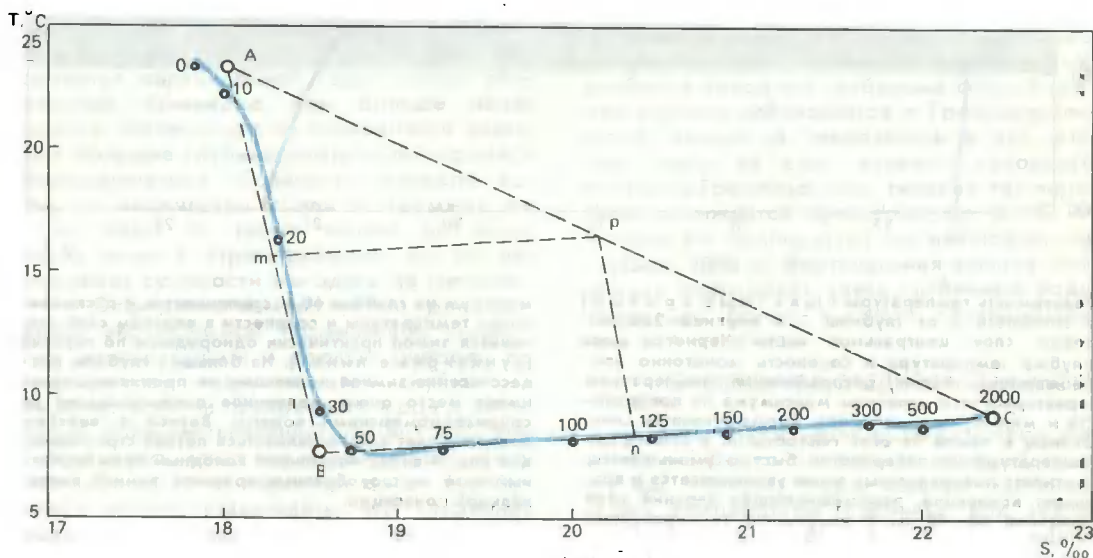
Наконец, что же происходит в Черном море, разговор о котором мы намеренно предварили несколькими примерами, чтобы затем показать его отличие как от самого океана, так и от соседнего Средиземного моря? Для ответа на этот вопрос надо рассмотреть вертикальную структуру водных масс Черного моря и, прежде всего, распределение температу-

ры. На поверхности моря в центральной части температура летом достигает 23—24 °C, но резко уменьшается с глубиной, доходя до значения 7,5 °C в ядре так называемого холодного промежуточного слоя, располагающегося примерно на глубине 60 м. Ниже этого ядра температура монотонно увеличивается до 9,2 °C на глубине 2000 м. Соленость в летний период равномерно увеличивается от значения примерно 18⁰/₀₀ на поверхности до 22,4⁰/₀₀ на той же глубине 2000 м. Влияние температуры и солёности на плотность воды взаимно компенсируются таким образом, что плотность с глубиной увеличивается и летняя стратификация по всей толще воды является устойчивой.

Холодный промежуточный слой толщиной примерно 50—100 м — отличительная особенность гидрологической структуры Черного моря. Образуется он за счет процесса осенне-зимней термической кон-

Типовая T, S-кривая центральной части Черного моря (цветная линия). Она соединяет точки, соответствующие разным глубинам (указаны на рисунке в метрах) на плоскости «температура — солёность». Процессы смешения водных масс изображаются на такой плоскости прямыми линиями. Действительно, если, например, однородную водную массу А смешать пополам с однородной водной массой С, то результирующая точка смеси будет лежать на «прямой смешения» АС посередине в точке р, а температура и солёность будут определяться как среднееарифметическое от соответствующих

характеристик водных масс А и С. Смешение трех однородных масс будет определяться треугольником смешения (на рисунке АВС). Построенный на T, S-кривой, он позволяет определять содержание каждой из водных масс на соответствующей глубине. Средние линии треугольника смешения тр и пр «рассекают» по вертикали водную толщу Черного моря на три основные водные массы: приповерхностную, водную массу холодного промежуточного слоя и глубинную, причем любая точка этих линий соответствует 50 %-ному содержанию одной из водных масс (например, на линии тр 50 % водной массы А).



векции следующим образом. За счет выхолаживания и теплоотдачи в атмосферу температура на поверхности моря понижается до критического значения $6-7^{\circ}\text{C}$, соответствующего ядру промежуточного слоя (естественно, на севере, например в северо-западной части моря, температура понижается до нуля, и наблюдается образование льда; поэтому рассматриваемые нами явления относятся к центральной части, наиболее характерной для всего бассейна в целом). В результате охлаждения плотность воды увеличивается, устойчивая стратификация верхних слоев нарушается и возникает однородный холодный слой до глубины около 60 м. В процессе конвективного перемешивания выравнивается не только температура, но и солёность: количество имеющихся солей (если не происходит образования льда) просто перераспределяется в однородном слое. Весной и летом море начинает про-

греваться, и к концу июля — августа восстанавливается летняя стратификация. Но этот процесс захватывает лишь сравнительно неглубокий поверхностный слой — прогрева недостаточно, чтобы ликвидировать холодный промежуточный слой. В результате последний существует как постоянный фактор гидрологической структуры моря: ежегодно осенью и зимой происходит своеобразная «подкачка» холодных вод сверху и слой с температурой около $7-7,5^{\circ}\text{C}$ существует перманентно.

Итак, конвекция, охлаждая поверхностные воды до температуры 7° , не проникает глубже 100—150 м. Причина неглубокой, «затрудненной» конвекции в том, что пресный водный баланс в Черном море, в противоположность Средиземному, положителен: суммарный годовой сток рек и осадки превышают испарение с поверхности. За счет постоянного опреснения поверхностных вод градиент солёности по

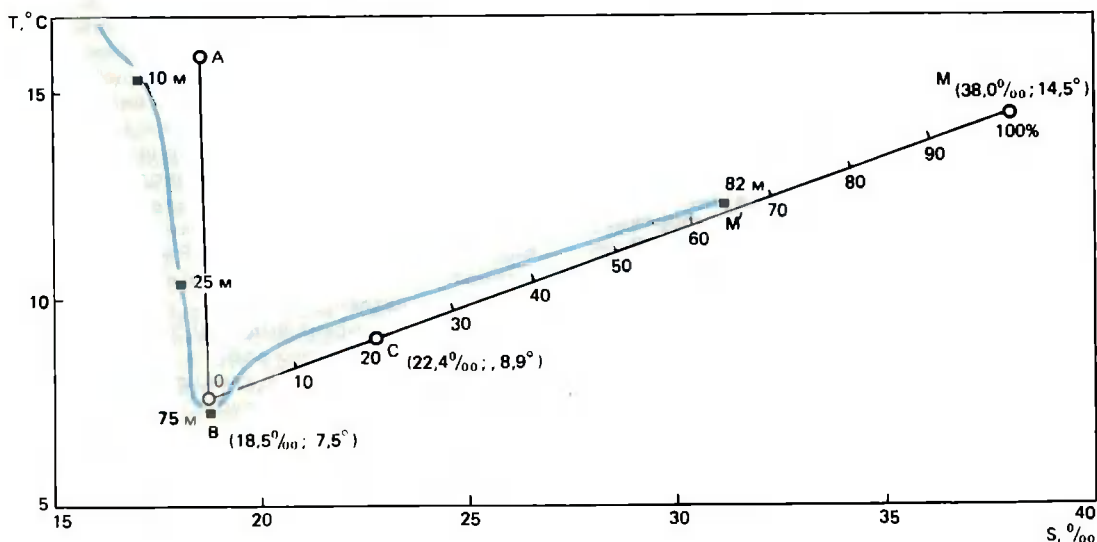
Прямая смешения ВМ водной массы В холодного промежуточного слоя Черного моря и водной массы М Средиземного моря. Шкала, нанесенная на прямую, соответствует процентному содержанию водной массы М в смеси. Изображена также T, S-кривая (цветная линия), построенная по данным гидрологической станции экспедиционного судна «Академик Ковалевский» (1960 г., прибосфорский район Черного моря, глубина от 10 до 82 м). Индекс С глубиной водной массы Черного моря лежит на прямой смешения и, следовательно, представляет собой продукт смешения вод В и М в пропорции 80 % и 20 % соответственно. Индекс М' есть продукт смешения этих же вод, но в пропорции 36 % и 64 %. Таким образом, прямая ВМ представляет собой ли-

нию трансформации воды собственно Средиземного моря в глубинную водную массу Черного моря. Отрезок ММ' соответствует перемешиванию вод в проливах, где солёность падает с 38 до $31^{\circ}/_{\text{‰}}$, от входа в Дарданеллы до выхода из Босфора, отрезок М'С — Черному морю, где солёность понижается до $22,4^{\circ}/_{\text{‰}}$ на глубине 2000 м. Наконец, отрезок СВ соответствует медленному взаимодействию глубинных вод с холодным промежуточным слоем. Расчет характеристик водной массы С (температуры Т и солёности S), проведенный по формулам смешения

$$T = 0,8 \cdot 7,5^{\circ} + 0,2 \cdot 14,5^{\circ} = 8,9^{\circ}$$

$$S = 0,8 \cdot 18,5^{\circ}/_{\text{‰}} + 0,2 \cdot 38,0^{\circ}/_{\text{‰}} = 22,4^{\circ}/_{\text{‰}}$$

совпадает с экспериментальными данными.



вертикали велик, и гидростатическая устойчивость значительна: она и препятствует возникновению глубинной конвекции. Откуда же у дна котловины берутся воды с температурой более 9°C ?

ВОДООБМЕН МЕЖДУ ЧЕРНЫМ И СРЕДИЗЕМНЫМ МОРЯМИ

Еще со времен замечательных исследований итальянского ученого Л. Марсильи (1681 г.!) и работ адмирала С. О. Макарова хорошо известно, что через пролив Босфор осуществляется двухсторонний обмен вод: верхним течением в пролив поступают из Черного моря воды, представляющие избыток речного стока и осадков в море над испарением, а нижним течением, которое является компенсационным, в Черное море втекают воды средиземноморского происхождения. В своей работе «Об обмене вод Черного и Средиземного морей», вышедшей в свет в 1885 г., С. О. Макаров излагает результаты как собственных исследований в проливе Босфор, так и обстоятельно цитирует своего далекого предшественника, в частности опыт с «ящиком Марсильи», моделирующим двухсторонний водообмен через Босфор¹. Основной вывод, содержащийся в книге, таков: глубинные воды Черного моря есть не что иное, как трансформированные в процессе перемешивания средиземноморские воды. Это утверждение, однако, не подкреплено количественными данными, в точности характеризующими степень влияния нижнего Босфорского течения на образование глубинных вод в Черном море. Они были получены сравнительно недавно, и большая роль в их сборе и интерпретации принадлежит севастопольскому океанологу А. К. Богдановой².

В основе ее выводов лежат результаты наблюдений, специально сделанных непосредственно в самом прибофорском районе Черного моря в 1958, 1960 и 1961 гг. У входа в пролив на свале глубин в сторону моря на глубине 82 м соленость достигает $31^{10}/_{\text{‰}}$, в то время как в котловине на глубине 2000 м она — $22,4^{10}/_{\text{‰}}$. Налицо влияние средиземноморских вод, трансформация которых происходит следующим образом. У входа

в пролив Дарданеллы, в Эгейском море, соленость вод примерно $38^{10}/_{\text{‰}}$, и за счет сильного перемешивания в проливах между нижним средиземноморским течением и верхним течением из Черного моря она постепенно уменьшается до указанной величины $31^{10}/_{\text{‰}}$ при выходе из Босфора. Дальнейшее понижение солёности в самом море до величины $22,4^{10}/_{\text{‰}}$ происходит уже за счет перемешивания этих вод с водами холодного промежуточного слоя, солёность которых около $18,5^{10}/_{\text{‰}}$. В процессе такой трансформации происходит также понижение температуры — на первом этапе от величины $14,5^{\circ}\text{C}$ в Эгейском море до 12°C на свале глубин в прибофорском районе. Дальше, в самом море, температура, как и солёность, понижается также за счет контакта с холодным промежуточным слоем с температурой около $7,5^{\circ}\text{C}$. В результате на большой глубине устанавливается температура, равная именно $8,9^{\circ}\text{C}$.

Процессы изменения солёности и температуры в результате перемешивания водных масс можно одновременно представить на так называемой T, S -диаграмме, где по одной оси нанесена температура, а по другой солёность³. Если перечисленные выше значения температуры и солёности нанести на этот график попарно в виде так называемых индексов водных масс, то окажется, что все четыре индекса водных масс — в Эгейском море, у выхода из пролива Босфор, в глубинных слоях моря и, наконец, в холодном промежуточном слое — ложатся на одну прямую, так называемую прямую смешения. Именно это обстоятельство свидетельствует о том, что «промежуточные» T, S -точки (водные массы) образовались в результате смешивания «крайних» водных масс — средиземноморской воды и воды холодного промежуточного слоя. Очевидно, этот основной вывод был бы неверен, если бы в рассматриваемом процессе перемешивания T, S -точки не легли на единую прямую смешения. Расчеты показывают, что глубинные воды Черного моря представляют собой смесь 20 % средиземноморских вод и 80 % вод холодного промежуточного слоя; в соответствии с этими пропорциями смешения устанавливаются как температура, так и солёность этих вод.

¹ Макаров С. О. Океанографические работы. М., 1950. С. 29—93.

² Богданова А. К. // Океанология. 1961. Т. 1. Вып. 6. С. 983—991.

³ Мамаев О. И. T, S -анализ вод Мирового океана. М., 1970.

МЕДЛЕННАЯ ДИФфуЗИЯ И ВОЗРАСТ ГЛУБИННЫХ ВОД

Таким образом, трансформированные в проливах средиземноморские воды, поступая из Босфора и опускаясь на большие глубины, вступают во взаимодействие с лежащими над ними водами холодного промежуточного слоя. Круглогодичное присутствие этого слоя свидетельствует о том, что его пополнение с поверхности моря осенью и зимой достаточно для непрерывного перемешивания с нижележащими водами.

Это перемешивание ниже холодного промежуточного слоя, т. е. ниже границы проникновения осенне-зимней конвекции, должно, очевидно, быть очень медленным и, по всей вероятности, носит характер квазимолекулярной диффузии. Предположение о медленности этого процесса подтверждается соображениями об упоминавшемся в начале статьи «собственном времени», или возрасте глубинных вод Черного моря.

Заимствуем расчет времени обновления глубинных вод Черного моря из книги П. Вейля «Популярная океанография»¹, несколько уточнив его. Объем вод Черного моря ниже глубины 100 м составляет $5 \cdot 10^{14} \text{ м}^3$, а количество содержащейся в этом объеме соли, при средней солёности $22,2^{0/00}$, равно $1,1 \cdot 10^{16} \text{ кг}$. В установившемся состоянии количество соли, вносимое в море (нижним босфорским течением), должно быть равно ее количеству, уносимому из моря (верхним течением — в Босфор). Известно из наблюдений, что расход верхнего течения составляет примерно $11 \cdot 10^3 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, что при его средней солёности $18,4^{0/00}$ дает для выносимой соли количество, равное $2,0 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-1}$. Отсюда время обновления, или возраст вод, есть отношение общего количества соли в море к величине ее поступления:

$$1,1 \cdot 10^{16} / 2,0 \cdot 10^5 = 5,5 \cdot 10^{10} \text{ с} \approx 1750 \text{ лет.}$$

Некоторые исследователи считают эту величину завышенной; но даже крайние оценки показывают, что возраст глубинных вод Черного моря не менее нескольких сотен лет, что опять же свидетельствует в пользу представлений о медленности процессов перемешивания и трансформации его вод.

ДОЛГОПЕРИОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ТЕПЛОВЫЕ ВОЛНЫ ФУРЬЕ

Вопрос о происхождении и возрасте глубинных вод Черного моря имеет самое непосредственное отношение к проблемам изучения климата океана. Чтобы показать это, рассмотрим, как могут быть связаны долгопериодные (климатические) изменения гидрологических условий на поверхности моря (например, температуры) с изменениями на больших глубинах. Вспомним известную в теории теплопроводности классическую задачу Фурье о распространении тепловых волн в глубь почвы или толщи воды. Пусть в некоторой точке на поверхности моря температура воды изменяется со временем по простому гармоническому закону (скажем, по синусоидальному). Вследствие процессов теплопроводности — как молекулярной, так и турбулентной — колебания температуры с поверхности моря передаются вглубь по законам Фурье (заметим, что рассматривается для простоты одномерный случай, причем среда считается однородной по плотности, а коэффициент теплообмена постоянным).

Согласно одному из законов Фурье, если рассматривать два простых колебательных процесса с разными периодами, но с одинаковой амплитудой, следует, что отношение глубин Z , на которых амплитуды этих колебаний уменьшаются в одинаковое число раз, равно квадратному корню из отношения периодов этих колебаний:

$$Z_1 / Z_2 = \sqrt{T_1 / T_2}$$

Рассмотрим, например, колебания с годовым периодом ($T_1 = 365$ сут) и суточным периодом ($T_2 = 1$ сут). Пусть амплитуды этих колебаний на поверхности моря одинаковы. Тогда из этой формулы следует, что амплитуда годовой волны уменьшается в то же число раз, что и амплитуда суточной волны, на глубине в девятнадцать раз большей:

$$Z_{\text{год}} / Z_{\text{сут}} = \sqrt{365} \approx 19$$

(при одном и том же коэффициенте теплообмена для обоих колебаний).

Пусть амплитуда суточных колебаний на глубине 10 м уменьшается, например, в пять раз по сравнению с поверхностью моря. Тогда годовая волна с той же амплитудой (именно, в пять раз меньшей, чем

¹ Вейль П. Популярная океанография. Л., 1977.

на поверхности) будет наблюдаться на глубине 190 м (эти оценки амплитуд и глубин близки к действительности). Пусть опять суточная волна затухает в пять раз на той же глубине 10 м, но наблюдается еще одно колебание, амплитуда которого на поверхности моря такая же, как у суточного, но пятикратное уменьшение которой удастся заметить на сей раз на глубине 1900 м. Каков период этого колебания? Очевидно, 100 лет. Такая «вековая» волна может, по-видимому, возникнуть лишь под влиянием очень долгопериодных колебаний, обусловленных изменениями климата.

Из этого примера напрашивается вывод, что климатические долгопериодные колебания температуры можно в принципе обнаружить на больших глубинах океана, в нашем примере — на глубине около 2000 м. На меньших глубинах очень слабый «климатический» сигнал будет, по-видимому, подавляться «шумом», складывающимся из суточных, недельных, годовых, декадных и других возможных волн с периодами, меньшими 100 лет.

Какова, однако, принципиальная возможность детектировать весьма слабые амплитуды долгопериодных колебаний на

столь большой глубине? Для этого при прочих равных (сложных!) условиях необходимо соблюдение по меньшей мере следующих двух положений: океанические воды должны быть очень «старыми», чтобы в них оставались следы очень давних сигналов; они не должны возмущаться другими процессами, кроме медленной «периодической диффузии», скорее всего молекулярной. Таким образом, «старые» глубинные воды Черного моря могут оказаться хорошим устойчивым «фоном» для их обнаружения.

Изучение реакции океана на климатические изменения в земной атмосфере приобретает особый смысл именно в последние годы, когда внимание геофизиков на проблемах эволюции воздушной и жидкой оболочек планеты — нам жизненно необходимо знать, какие изменения произойдут в окружающей нас среде через 50, 100 и более лет и как эти изменения, если они происходят под влиянием все более усиливающегося антропогенного фактора (а в значительной степени это именно так), можно регулировать.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Редакция и редакционная коллегия «Природы» продолжают работу по изучению читательского мнения. Мы просим вас сообщить, какие публикации 1986 г. вызвали у вас наибольший интерес. Достаточно указать фамилии авторов и номера журналов.

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

Ю.А.Косыгин

В результате изучения докембрийских толщ Земли получается пусть пока предположительный вывод, что общепризнанные сейчас значения возраста Земли и Вселенной сильно занижены, что геологические и космологические представления имеют недостаточно точек соприкосновения, а история Земли почти совершенно не рассматривается как летопись истории Вселенной.

Начнем с самой общей характеристики геологической ситуации. Строение и геологическое развитие континентальных и океанических блоков как крупнейших геологических структурных элементов Земли, а также платформенных и геосинклинальных областей обычно определяются на основе изучения наименее метаморфизованных (измененных) фанерозойских и отчасти верхнедокембрийских образований. Ниже них располагаются серии нередко сильно метаморфизованных пород, лежащие на фундаментах древних платформ, относимые к раннему докембрию. В породах этих серий признаки первичной оболочки Земли сохранились далеко не повсеместно, так как метаморфизм в значительной степени стирал ее черты. Поэтому в раннем докембрии привычные для фанерозоя крупные структурные формы и элементы не проявляются достаточно отчетливо.

Восстановление истории Земли в раннем докембрии значительно затруднено по сравнению с более поздними этапами. На огромных пространствах дна океана породы раннего докембрия недоступны непосредственному изучению (по некоторым представлениям, на большей части дна таких пород вообще нет, что связывается с раздвижением плит — спредингом — и образованием новой коры), а на континентах они доступны наблюдению лишь на щитах, срединных массивах и в отдельных выступах в складчатых системах. Вместе с тем интересы геологической науки требуют знания состава, строения и истории развития всей Земли в раннем докембрии или, по крайней мере, ее внешней оболочки, так как только такие знания дадут возможность реконструировать ранние этапы существования Земли и, в конечном счете, понять ее происхождение.

Поскольку раннедокембрийские породы редко вы-



Юрий Александрович Косыгин, академик, директор Института тектоники и геофизики ДВНЦ АН СССР. Специалист в области тектоники и геологии нефти. В 1985 г. награжден золотой медалью им. А. П. Карпинского. Герой Социалистического Труда. Автор многочисленных научных работ, и в том числе монографий: Основы тектоники. М., 1974; Тектоника. М., 1969; 1983.

ходят на поверхность, а признаки их первичного строения стерты, однозначные представления об их структуре, истории и развитии почти невозможны. Отсюда широкое использование самых разнообразных научных гипотез, которые становятся необходимым инструментом исследования. Учитывая большие глубины Земли, в которых «скрывается истина», период гипотез, с их часто антагонистическими противоречиями, в изучении раннего докембрия будет еще очень длительным.

Следует иметь в виду, что радиометрический (или, как принято говорить, абсолютный) возраст — это не более чем возраст последней кристаллизации в породах. Стоит породе расплавиться или претерпеть новый глубокий метаморфизм, как стирается ее подлинный возраст, при этом, возможно, выпадает огромный отрезок геологической истории и возобновляется новый отсчет времени. Поэтому к приводимым в литературе данным о радиометрическом возрасте надо относиться с учетом сделанных оговорок, даже если дело касается возраста Земли.

Здесь уместно напомнить о судьбе экстремальных значений возраста земных пород, заметно превышающих общепринятый возраст планеты. Эти определения по разным причинам считались некачественными или же объяснялись процессами, якобы влияющими на ход радиоактивного распада. Приведем некоторые данные таких определений.

Для слюдисто-сульфидного цемента конгломератов Украинского щита А. И. Тугаринов уран-свинцовым методом ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) определил возраст в 6 млрд лет¹. Такие же данные получили А. И. Тугаринов и К. В. Войткевич для мусковитизированных аркоз «второго горизонта» в Староскольском районе Курской магнитной аномалии. Здесь определения возраста с использованием $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ полностью совпали².

Для гиперстеновых кристаллических сланцев Южного Буга на Украинском щите уран-свинцовым методом ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) получен возраст 5,65 млрд лет и торий-свинцовым методом ($^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$) — 6 млрд лет. Для метаморфизованных диопсидовых пород Алданского массива калий-аргоновым

методом получены цифры 5,3, 5,4 и 5,8 млрд лет. Для определения роли субъективных ошибок был проведен сравнительный анализ данных, полученных в различных лабораториях (И. Е. Старик, Р. В. Комлев и Э. К. Герлинг); для интервала 1,7—1,8 млрд лет расхождения составили всего 2 %.

На Кольском п-ове в Мончегорском массиве возраст относящихся к ксенолитам «седберитов», определенный Э. К. Герлингом калий-аргоновым методом, составил 7,96 млрд лет, а бластомилонитов — 10,85 млрд лет³. В упомянутой работе указывается, что по среднему содержанию в ксенолитах аргона и калия возраст изотопа ^{40}K оценивается в 7 млрд лет, а по синтезу легких и тяжелых элементов — приблизительно в 10 млрд лет.

Отметим, что еще в 1962 г. Э. К. Герлинг писал: «Возраст некоторых основных пород Карелии и Кольского п-ова, определенный калий-аргоновым методом, датируется до 6,5 млрд лет... Горные породы Мончи по радиогеологическим данным являются гораздо более древними образованиями, чем это следовало из геологических представлений». И далее: «Исходя из этого, можно думать, что полученные нами значения $6500 \cdot 10^6$ лет отражают действительный возраст исследованных образцов. Мы полагаем, что эти цифры относятся к ксенолитам подкорового вещества Земли»⁴.

Обратимся к новейшим данным, полученным на Кольской скважине. Здесь в ряде кернов калий-аргоновым методом был определен возраст горных пород, оказавшийся выше канонического возраста планеты. Так, возраст мраморов с глубины 5797 м оказался равен 5,29 млрд лет; хлоритовых диафторированных сланцев с глубины 5607 м — 5 млрд лет, а мраморов с глубины 5660 м — 13 млрд лет⁵.

Учитывая эти данные, вероятную неоднократную «перестановку» радиологиче-

¹ Каталог изотопных дат пород Украинского щита. Киев, 1978. С. 176—177.

² Тугаринов А. И., Войткевич Г. В. Докембрийская геохронология материков. М., 1970.

³ Герлинг Э. К., Масленников В. А. Древнейшие ультраосновные и основные породы Монче-Тундры (Кольский полуостров) и новые данные об абсолютном возрасте подкорового вещества Земли // Абсолютный возраст докембрийских пород СССР. М., 1965. С. 11—34.

⁴ Герлинг Э. К., Шуколюков Ю. А. и др. // Геохимия, 1962. № 11. С. 931—938.

⁵ Герлинг Э. К., Кольцова Т. В., Дук Г. Г. Аномальные содержания радиогенных изотопов аргона и гелия в минералах пород Печенгского комплекса (Кольский полуостров) // Методические проблемы ядерной геологии. Л., 1982. С. 5—21.

ских часов, а также тот факт, что представления, которыми пытались объяснить повышенное содержание аргона за счет его приноса извне (это касается калиево-аргоновых определений), встретили серьезные возражения и остаются на сугубо гипотетическом уровне, приходится признать вероятным, что возраст Земли значительно выше общепринятого. Кстати говоря, и для образцов метеоритов габброноритового состава калий-аргоновым методом получены значения 9,3 млрд лет⁶.

Если соображения о возрасте горных пород имеют сколько-нибудь веские основания, то возраст Земли может измеряться десятками миллиардов лет, что противоречит космологическим представлениям о возрасте Вселенной, составляющем 10—20 млрд лет. Если же принять во внимание эти цифры, то возраст Земли должен быть снова зажат в канонические рамки. Эти рамки (4,56 млрд лет), согласно построениям А. Тауcoma и др., проведенные на метеоритной основе, определяются возрастом и содержанием существующих еще на Земле изотопов с периодом полураспада свыше 0,7 млрд лет⁷. Обратившись к ²³⁵U, мы должны были бы расширить эти пределы и признать, что его возраст, и следовательно, возраст других тяжелых элементов, не может быть более 10,6 млрд лет. Однако эта цифра основана на априорных предпосылках, что все вещество Земли произошло из метеоритных источников и что все изотопы урана образовались одновременно. Она не должна восприниматься как достоверная, т. е. весь ²³⁵U может быть вторичным, образовавшимся в условиях Земли за счет ²³⁸U, либо при распаде природных трансурановых элементов, что, с другой стороны, легко приведет к увеличению возраста Земли до 60 млрд лет или более, с учетом периода полураспада ²³⁸U. Однако если возраст Земли измеряется десятками миллиардов лет, то возраст Вселенной должен быть значительно большим, чем принимается большинством астрономов.

В связи с этим возникает вопрос о том, насколько обоснованы господствующие представления о возрасте Вселенной.

На такую ревизию нам дает право основной постулат космологии, согласно которому законы физики, устанавливаемые на Земле или в околоземном (в достаточно широком смысле, отвечающем возможностям современных космических исследований) пространстве, могут быть экстраполированы на большие области и даже на всю Вселенную. А без этого постулата космология как наука невозможна. Иными словами, методика космологических построений весьма близка к историко-геологическим реконструкциям, основанным на методе актуализма (настоящее — ключ к прошлому), без которого они также были бы невозможны. И нам ясно, что вся чуть ли не безграничная многозначность решений (гипотез о ранней истории Земли или же о первых стадиях раннего докембрия) касается в равной мере суждений о Вселенной. Мы мало знаем о Земле пятимиллиардной давности, а также о частях Вселенной, отстоящих от нас на расстояния, измеряемые миллиардами световых лет. В нашем распоряжении могут быть только гипотезы. Но гипотезы опережаются, у них как бы вырастают крылья для самостоятельного полета; они растут и крепнут, питаются наиболее «вкусными» и «питательными» фактами, с удивительной ловкостью выбирая их из необозримого множества «несъедобных». Так было и с определениями предельного возраста атомных ядер, вытекающими только из предположений, но получившими чуть ли не права аксиом, в частности при решении вопроса о возрасте Земли⁸. Происходит нечто подобное тому, как созданный автором литературный герой начинает жить своей жизнью и увлекает автора по собственному пути, заставляя его забыть о прототипе.

Возраст мраморов, оцененный с помощью калий-аргонового метода в 13 млрд лет, и подобный возраст хлоритов, карбонатов, турмалинов и тремолитов из Кольской скважины, полученный уран-гелиевым методом, объявлен неверным как «нереальный ложный возраст вследствие локального избытка аргона»⁹. Поистине удивительно, что и аргон, и гелий поступают извне как раз в таких количествах, чтобы дать совпадающие значения возраста различных пород. В качестве одного из аргументов «ложности» приводится соображение, что возраст этих пород превышает возраст

⁶ Герлинг Э. К., Овчинникова Г. В. К вопросу о постоянстве скорости радиоактивного распада // Геолого-радиологическая интерпретация несходящихся значений возрастов. М., 1973. С. 21.

⁷ Tatsumoto M., Unruh D. M., Desborough G. A. // Geochim. et cosmochim. acta. 1976. Vol. 40. № 6. P. 617—634.

⁸ Чердынцев В. В. Распространенность химических элементов. М., 1956.

⁹ Кольская сверхглубокая. М., 1984. С. 65.

Солнечной системы, определяемый в 5 и даже 4,5 млрд лет.

Сопоставим это высказывание с высказыванием астрономов о том, что «возраст Земли и метеоритов порядка пяти миллиардов лет. Поэтому считают, что вся Солнечная система существует по крайней мере $5 \cdot 10^9$ лет»¹⁰.

Высказывания геологов и астрономов явно представляют собой логически порочный круг. На границе геологии и астрономии завязывается узел, который должен быть разрушен. Для определения возраста Солнечной системы много полезнее земного эталона мог бы оказаться тот факт, что «энергии превращения водорода в гелий было бы достаточно для поддержания излучения Солнца в течение времени порядка 10^{11} лет»¹¹. Из всего сказанного следует, что возрастом горных пород в 13 млрд лет не надо пренебрегать, а следует его считать крупнейшей проблемой, достойной изучения не только в геологии, но и в космологии.

Нечто похожее происходит с представлениями о возрасте Вселенной. Известно, что поначалу А. Эйнштейн считал Вселенную стационарной. Затем А. А. Фридман выдвинул свою гипотезу о нестационарности Вселенной, которую Эйнштейн спустя несколько лет принял, после чего утвердилось представление о нестационарности Вселенной. Создается впечатление, что представление о стационарной Вселенной было лишь своего рода теоретическим «тупиком», из которого Эйнштейн быстро вышел, а его новые доказательства нестационарности Вселенной были просто победой одетого в математические одежды здравого смысла. Но нестационарность Вселенной может быть различной. Расширение или сжатие — это простейшие процессы, к которым рискованно сводить всю эволюцию Вселенной и которые должны комбинироваться друг с другом, уступая первенство одно другому не только во времени, но и в пространстве, и сочетаясь с вихревыми и более сложными движениями.

В 1842 г. австрийский ученый К. Доплер установил зависимость частоты волн от скорости перемещения их источника относительно наблюдателя. При приближении источника его длина волны уменьшает-

ся, при удалении растет, что соответствует уменьшению энергии излучения и «покраснению» спектральных линий, или их смещению в длинноволновую часть спектра. Красное смещение было обнаружено Хабблом в спектрах излучения далеких галактик. При этом, чем дальше от нас галактика, тем больше красное смещение линий в ее спектре и, следовательно, тем быстрее она удаляется от нас. Таким образом, вроде бы подтвердилась мысль о расширении Вселенной. Затем она была возведена в ранг «кардинального факта» (тогда как это всего-навсего система построений и гипотез, в конечном счете основанная на земном или околоземном материале) и т. д.

Открытие Хабблом того, что красное смещение возрастает с удалением галактик, является, конечно, величайшим научным достижением. Но интерпретация этого факта может быть различной. По-видимому, с учетом новых данных о возрасте пород раннего докембрия необходимо пересмотреть представления о возрасте Земли, а вместе с тем и Вселенной. Космологические задачи должны решаться на земном материале, иначе будет нарушен упомянутый основной постулат космологии. Возможно, красное смещение далеких галактик должно получить новое истолкование. Здесь может сыграть свою роль и небезызвестная «скрытая масса» Вселенной. В космологии установлена критическая плотность вещества во Вселенной — примерно 10^{-29} г/см³. Считается, что если средняя плотность ниже критической, то Вселенная должна бесконечно расширяться, а если выше — это расширение рано или поздно сменится сжатием. По некоторым оценкам, плотность, с учетом массы одних только электронных нейтрино уже равна критической, а если принять во внимание массы мюонных и τ -нейтрино, то плотность превысит критическую и Вселенная не сможет расширяться бесконечно. В этом случае тяготение остановит разлетающиеся галактики и направит их по обратному пути. Однако в нестационарной Вселенной далекие галактики могут испытывать сложные движения и эволюционировать, совсем не обязательно убегая друг от друга, «как черт от ладана». Надо еще иметь в виду, что реликтовое излучение вовсе необязательно рассматривать как остаточное свидетельство начального взрыва сверхплотной Вселенной. Ведь в этом словосочетании лишь слово «излучение» означает измеримую величину, а то, что оно реликтовое, — это только гипо-

¹⁰ Струве О., Линдс Б., Пилланс Э. Элементарная астрономия. М., 1964.

¹¹ Брандт Дж., Ходж П. Астрофизика Солнечной системы. М., 1967.

теза, справедливая в модели «горячей» Вселенной.

Итак, исследования раннего докембрия позволяют поставить серьезнейший научный вопрос о необходимости согласовать результаты различных подходов к изучению возраста Земли и Вселенной. История Земли длительна и сложна, и в ней могут быть запечатлены следы крупнейших космических событий. Ее изучение, наряду с выяснением законов существо-

вания и развития галактик и их скоплений, а также квазаров, должно привести к взаимной корректировке геологических и космологических построений и, несомненно, к дальнейшему прогрессу в развитии этих наук. Я, как геолог, хочу верить, что геологические разрезы, формировавшиеся на протяжении миллиардов лет, могут оказаться ключом к познанию Вселенной.

КОММЕНТАРИЙ ГЕОХИМИКА

За последние годы методы изотопной геохронологии достигли совершенства. Лаборатории мира оснащены масс-спектрометрами, позволяющими измерять изотопный состав с погрешностью не хуже $\pm 0,002\%$ из навесок массой до 10^{-9} г. Исследователи имеют возможность определять возраст как породы в целом, так и отдельных минеральных зерен размером в десятки доли миллиметра или даже осколки таких зерен.

Тонкие методы интерпретации изотопных данных позволяют с помощью разных вариантов изохронных построений находить возраст не только кристаллизации, но и вторичного метаморфизма пород. Иначе говоря, определять действительный возраст даже тогда, когда минерал теряет некоторое количество радиоактивного или (и) радиогенного изотопа.

Эти методы неоднократно описаны в научных статьях, монографиях и популярных книгах¹. Сегодня удается надежно и строго разграничивать геологические события, произошедшие 2—3 млрд лет назад с решающей способностью до

0,002 млрд лет, т. е. измерять геологическое время с точностью не хуже $\pm 0,1\%$! В научной литературе вполне серьезно обсуждаются причины расхождений в оценках возраста метеоритов, полученных по независимым уран-свинцовым и рубидий-стронциевым изотопным «часам» — 4,554 или 4,562 млрд лет... Для определения возраста Земли детально разработан ряд независимых моделей развития разных изотопных систем планеты в целом, приводящих к одному и тому же значению ее возраста — около 4,6 млрд лет...

Вывод Ю. А. Косыгина о том, что легко увеличить возраст Земли до 60 млрд лет или более, по существу основан на нескольких выбранных из литературы экспериментальных данных, полученных в основном лет 20 назад. В статье им приписан изотопно-геохронологический смысл, которого они на самом деле не имеют.

Прежде всего это относится к данным уран-свинцового метода. Например, значение 6,0 млрд лет для слюдисто-сульфидного цемента конгломератов нижней свиты криворожской серии рассматривается как реальный возраст.

Но при этом не учитывается, что образцы были взяты из зоны гипергенных изменений, приводящих к преимущественному выносу урана. А это неизбежно приводит к завышению «возраста», вычисляемого по формуле:

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{Pb}{U} + 1 \right),$$

где выражение Pb/U означает

отношение концентраций свинца и урана в образце.

Ведь уменьшение концентрации урана (знаменатель) в соответствии с законами алгебры завышает дробь и соответственно — значение возраста. В разной степени — по разным изотопным отношениям: $^{206}Pb/^{238}U$, $^{207}Pb/^{235}U$, $^{207}Pb/^{206}Pb$, $^{208}Pb/^{232}Th$. Именно эта обычная в геохронологии ситуация и описана в статье А. И. Тугаринова с коллегами². Но в изотопной геохронологии разработаны определения истинного возраста и для таких случаев³. Один из способов основан на том, что на возраст, рассчитываемый по соотношению изотопов только свинца, потери урана в гипергенных условиях почти не сказываются. Поэтому для тех же слюдисто-сульфидных конгломератов А. И. Тугаринов с коллегами смогли построить в системе координат $^{207}Pb/^{204}Pb$ — $^{206}Pb/^{204}Pb$ изохрону, на которой оказалась и точка образца с кажущимся «возрастом» 6 млрд лет. По тангенсу угла наклона изохроны А. И. Тугаринов и др. получили возраст 2,52 млрд лет.

¹ Старик И. Е. Ядерная геохронология. М.; Л., 1961; Соболев Э. В. Изотопы свинца в геохимии и космохимии. М., 1970; Изотопная геология. М., 1984; Горохов И. М. Рубидий-стронциевый метод изотопной геохронологии. М., 1985; Шуклюков Ю. А. Часы на миллиард лет. М., 1984.

² Бибикова Е. В., Тугаринов А. И., Зыков С. И. О возрасте седиментации криворожской толщи // Тр. одиннадцатой сессии Комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций. М., 1963. С. 163—167.

³ Шуклюков Ю. А., Горохов И. М., Левченко О. О. Графические методы изотопной геологии. М., 1974.

В статье Ю. А. Косыгина об этом не сообщается.

Другой «сверхдревний» объект, которому приписывается возраст 6 млрд лет — образцы мусковитизированных аркоз Старооскольского района КМА⁴. Можно построить и для этих образцов изохрон в той же системе координат и увидеть, что точка «6-миллиардного» образца оказывается на этой прямой линии. Тангенс угла наклона отвечает возрасту 2,3 млрд лет...

Таким образом, рассчитанные по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ высокие возрастные значения — результат миграции урана. Сами по себе эти значения никакой информации о возрасте не содержат.

Несколько слов об изменениях по калий-аргоновому методу. Сегодня хорошо известно, что минералы и породы часто содержат так много изотопа ^{40}Ar , что его образование из калия *in situ* — исключается. Такой избыточный аргон Э. К. Герлинг объяснял генерацией в минералах в неизвестных радиоактивных процессах. Все остальные исследователи считают, что избыточный аргон в берилле, кордиерите, кварце, сэдберите, пироксене, плагиоклазе, мраморе, сульфидах и многих других минералах и породах захвачен при их кристаллизации. Вычисляемые по избыточному аргону «возрасты» ни геологического, ни физического смысла не имеют. Это не представление «на сугубо гипотетическом уровне», как указывается в статье Ю. А. Косыгина, а результаты серьезных экспериментальных исследований, выполненных во многих лабораториях, которые позволяют утверждать:

1. Во всех минералах с избыточным ^{40}Ar , т. е. с повышенным «возрастом», всегда присутствуют и другие благородные газы: неон, гелий, криптон, ксенон. Если бы ^{40}Ar образовался из калия в таких минералах, нужно было бы придумать ядерные процессы для ге-

нерации полутора десятков изотопов остальных благородных газов. Все объясняется гораздо проще — захватом благородных газов при кристаллизации минералов. Именно поэтому в бериллах, например, они в тех же соотношениях, что и в природных газах⁵.

2. Экспериментально исследовано местонахождение захваченных аргона и других благородных газов в структуре минералов с «экстремальными возрастaми» — в микровключениях⁶. Разработаны методы их вскрытия для исследования захваченных благородных газов. Исследована кинетика выделения захваченного ^{40}Ar и других газов, существенно отличающаяся от кинетики выделения радиогенного аргона⁷.

3. Избыточный ^{40}Ar в очень большой концентрации нередко встречается во вторичных минералах, тонкой коркой покрывающих первичные минеральные зерна, — в хлорите, в канкрините, в сульфидах.

4. Захваченный ^{40}Ar обнаруживается в ряде сингенетических калий-содержащих минералов, кажущихся разновозрастными. При построении изохрон в системе координат ^{40}Ar — ^{40}K изохроны отсекают на оси ординат отрезок, численно равный концентрации захваченного аргона.

5. Захват благородных газов растущими кристаллами, в том числе захват ^{40}Ar , неоднократно моделировался в лабораторных условиях. Доказательство существования процесса захвата ^{40}Ar — давно пройденный этап развития изотопной геохронологии.

Поэтому все приводимые Ю. А. Косыгиным калий-аргоновые «возрасты» свыше 4,5 млрд лет не содержат на самом деле никакой геохронологической информации. Это всего-навсего результат захвата аргона кристаллизующимися минералами.

Что касается космохронологии, то существуют несколько изотопных методов расчета возраста Вселенной, точнее говоря — длительности непрерывного звездного нуклеосинтеза. Расчеты по радиоактивным изотомам кюрия, урана и тория дали величину 9 ± 3 млрд лет⁸, по изотопам ксенона, урана, плутония и тория — $8,4 \pm 0,4$ млрд лет⁹, по изотопам осмия и рения 14 ± 6 млрд лет¹⁰, в среднем 10 ± 3 млрд лет. Если учесть, что со времени образования Солнечной системы, включая Землю, прошло 4,6 млрд лет, возраст Вселенной, по изотопным данным, 15 ± 3 млрд лет.

Полное игнорирование этих изотопно-космохронологических данных и методов не делает более убедительными представления о 60-миллиардном возрасте Земли и Вселенной.

Завышение возрастов из-за миграции изотопов — не основание для ревизии изотопной геохронологии.

Ю. А. Шуколюков,
доктор химических наук

⁸ Tatsumoto M., Shimamura T. // Nature. 1980. Vol. 286. No 5769. P. 118—120.

⁹ Hohenberg C. M. // Science. 1969. Vol. 166. No 3902. P. 212—222.

¹⁰ Luck J.-M. et al. // Nature. 1980. Vol. 283. No 5744. P. 256—260.

⁵ Верховский А. Б., Матуков Д. И., Киризов Т. И., Шуколюков Ю. А. // Геохимия. 1983. No 2. С. 252—262.

⁶ Прасолов Э. М. Там же. С. 153—164.

⁷ Морозова И. М., Спрингсон В. Д., Шуркина Л. К. О распределении избыточного аргона в минералах основных и ультраосновных пород // Развитие и применение методов ядерной геохронологии. Л., 1976. С. 122—152.

⁴ Тугаринов А. И., Войткевич Г. В. Докембрийская геохронология материков. М., 1966.

КОММЕНТАРИЙ АСТРОФИЗИКА

Ю. А. Косыгин в основном сосредоточивает свое внимание на возрасте Земли и Солнечной системы. По этому вопросу соображения, подкрепляющие общепринятые значения (несколько меньше 5 млрд лет), представил Ю. А. Шуколюков.

Второй частью статьи Ю. А. Косыгин выражает сомнения в общепринятом возрасте Вселенной порядка 10—20 млрд лет. По моему мнению, нет оснований сомневаться в законах Доплер-эффекта (смещения спектральных линий), однозначно указывающих на расширение Вселенной. Формулы Доплер-эффекта проверены не только на земных объектах, но и в космосе (например, в двойных звездах).

Несомненно, остается неопределенность в определении расстояний, а также средней плотности вещества. Именно с этим связана указанная выше неопределенность времени существования Вселенной в современном и подобном современному состоянии.

Суммируя эти соображения с подробным анализом Ю. А. Шуколюкова, мы приходим к выводу, что Солнечная система (и в том числе Земля) образовалась на поздней стадии эволюции Вселенной.

В статье Ю. А. Косыгина сказано о реликтовом излучении: «...лишь слово «излучение» означает измеримую величину, а то, что оно реликтовое, — это только гипотеза, справедливая в модели «горячей» Вселенной». Не могу с этим согласиться: в настоящее время спектр излучения хорошо изучен (не менее чем 20 разных длин волн) и прекрасно согласуется со спектром черного тела. Изотропия излучения также соблюдается очень точно. Все это, на мой взгляд, является вескими аргументами в пользу реликтовой природы излучения и теории горячей Вселенной.

Несомненно, что в астрофизике надо быть осторожным. Есть известное высказывание: «Астрофизики (космологи)

ги) часто ошибаются, но никогда не сомневаются».

Можно вспомнить, что когда Хаббл сделал свое открытие, он дал значение величины, связывающей расстояние и скорость, в 10 раз отличающееся от современного, — и притом привел его с тремя значащими цифрами ($U = H_0 r$, $H_0 = 564 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$). Таким образом, в 30-х годах казалось, что возраст Вселенной составляет около 2 млрд лет. Казалось, что Солнечная система, в лучшем случае, образовалась на очень ранней стадии расширения. Соотношение возраста Земли и Вселенной было трудностью теории!

В настоящее время после пересмотра шкалы расстояний, приводящего к $H_0 \sim 50\text{--}100 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$ и к указанному выше возрасту, трудности этой больше нет — по крайней мере, такова моя оценка состояния вопроса.

Академик Я. Б. Зельдович

НОВЫЕ КНИГИ

Астрофизика

ФИЗИКА КОСМОСА: МАЛЕНЬКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ / Гл. ред. Р. А. Сюняев. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Сов. энциклопедия. 1986. 783. с. Ц. 5 р. 40 к.

Астрофизика и космология развиваются необычайно интенсивно. Поэтому переиздание «Маленькой энциклопедии» по этим областям науки потребовало больших усилий как от новой редколлегии, так и от авторов. В полтора раза пришлось увеличить объем книги, большое число статей написано заново. Но основа прежнего издания, вышедшего под редакцией С. Б. Пикельнера десять лет тому назад, сохранилась. Следуя традиции, авторы стре-

мались излагать именно физику космоса. В кратком и, по возможности, доступном виде освещено современное состояние фундаментальных наук — теории элементарных частиц, теории поля и гравитации. Большое внимание уделено современной теории ранней Вселенной, а также экстремальным состояниям небесных тел, в частности черным дырам и нейтронным звездам, проявляющим себя как радиопульсары, рентгеновские пульсары и барстеры. Наряду с классической оптической астрономией рассказывается о новых направлениях: радиоастрономии, гамма-, рентгеновской и нейтринной астрономии.

Энциклопедия делится на две части. Первая, состоящая из

восьми обзорных статей, вводит читателя в круг основных проблем и исследований современной астрофизики. Вторая часть содержит около 350 статей, расположенных в алфавитном порядке. В них более углубленно изложены проблемы, затронутые в обзорных статьях, а также рассмотрены методы исследования и направления развития астрофизики.

Следует подчеркнуть, что «Физика космоса» не может служить справочником для специалистов в области астрономии и астрофизики. Ее цель — ознакомить широкий круг читателей, не имеющих специальной подготовки, с современным уровнем научных знаний о космосе.



КРАСНАЯ КНИГА

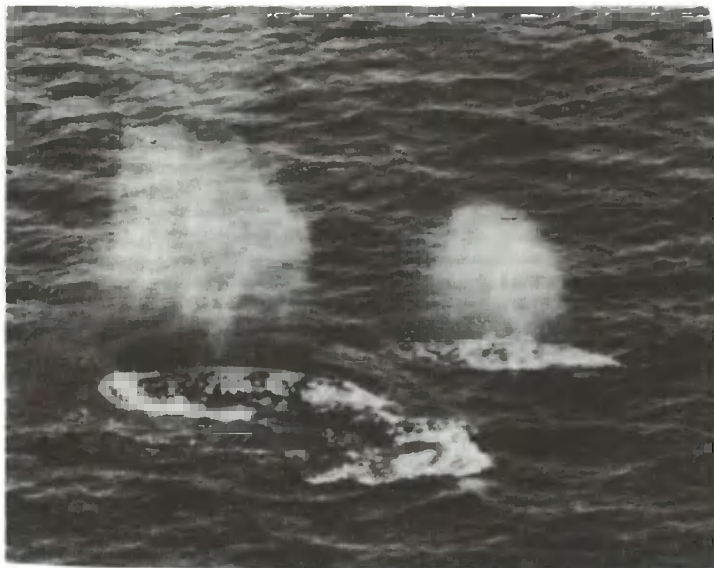


СЕРЫЙ КИТ В ОХОТСКОМ МОРЕ

А. А. Берзин,
доктор биологических наук

С. А. Блохин

Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии Министерства рыбного хозяйства СССР
Владивосток



Серые киты у побережий Сахалина.

Серых китов (*Eschrichtius robustus*) — морских животных из числа усатых китообразных — долгое время промышленно добывали во всех районах их обитания. Животных калифорнийско-чукотской популяции во множестве добывали еще китобойный парусный флот в основном в местах зимовки китов — у берегов Южной Калифорнии. Китов другой популяции — корейско-охотской — добывали у берегов Корейского п-ова, где они зимовали и размножались. Промысел серых китов и той и другой популяции был бесконтрольным, их истребляли тысячами, и уже в 30-х годах нашего века добыча этих морских гигантов была запрещена, поскольку возникла опасность их уничтожения. В результате численность калифорнийско-чукотской популяции стала постепенно восстанавливаться, и, по подсчетам американских и советских специалистов, сейчас она достигла оптимального уровня — 15—16 тыс. животных.

Состояние серых китов корейско-охотской популяции оказалось бедственным: из 1,5 тыс. животных (так в среднем исчислялось их количество) у восточных берегов Южной Кореи с 1910 до 1933 г. было добыто 1474. Популяции грозило истребление. Пятидесятилетний запрет промысла не привел к сколько-нибудь заметному увеличению ее численности, далеко не каждый год удавалось встретить даже одиночных животных и в водах Охотского моря. Так, за два десятилетия (60-е и 70-е годы) в северо-западной его части экипажи судов видели пять китов: четырех в 1967 г. и одного в 1974, но точно ли это были серые киты — уверенности не было. Во время специаль-

ных авианаблюдений в 1979—1984 гг. нам не удалось обнаружить ни одного серого кита в северо-западных и северных прибрежных водах Охотского моря. Большинство специалистов посчитали (и не без основания) корейско-охотскую популяцию находящейся на грани исчезновения или даже полностью уничтоженной. Серый кит обеих популяций попал в «Красную книгу СССР».

Но вот в то же время, когда мы вели поиски китов на севере Охотского моря, у южной оконечности Камчатки в 1979 г. сотрудники нашего института М. К. Маминав встречает одного серого кита, а в 1983 в том же месте — восемь. Судить о том, к какой популяции принадлежали киты, было трудно. Это могли быть и животные калифорнийско-чукотской популяции: такие дальние миграции вполне естественны, по крайней мере, они известны для других морских млекопитающих, численность которых увеличивается и расширяется ареал популяции. Мы, однако, склонны считать, что то были киты корейско-охотской популяции, одиночные особи которой раньше поднимались от берегов Японии вдоль о-вов Курильской гряды к берегам Камчатки.

Наше мнение подтвердилось: в 1983 г. сотрудник нашего же института Г. М. Косыгин встретил в сентябре около 20 китов в прибрежных водах северо-восточного Сахалина, у входа в залив Пильтун. Для нас это сообщение не было неожиданным, поскольку о китах в этом районе время от времени поступали сведения от экипажей вертолетов, но мы не думали, что речь могла идти о серых китах. Теперь же, когда китов видел специалист, сомнений не осталось. Серо-бурое тело животных было покрыто многочисленными светлыми пятнами, а это характерный внешний признак именно серых китов. Их пятнистость обусловлена не столько естественной окраской, сколько тем, что на коже поселяются усоногие раки, после отмирания которых на ней остаются депигментированные участки.

Итак, мы убедились, что в

присахалинских водах стали появляться именно серые киты. Естественно, что возникли и некоторые вопросы, в частности: когда киты появляются на летних «пастбищах» и когда уходят на зимовку.

Мы продолжали изучать распределение и численность серых китов в дальневосточных морях и в 1984 г. провели авиабследование прибрежных вод северного, северо-восточного и восточного Сахалина. В начале июля мы встретили 15 китов на том же месте, где их годом раньше видел Г. М. Косыгин, т. е. в районе большого и мелководного залива Пильтун, наибольшее количество животных — 17 — мы видели там 13 августа.

И в 1983, и в 1984 гг. киты плавали поодиночке или группами из 2—3 животных на расстоянии 100—200 м от берега. Эти киты, единственные из крупных китообразных, которые питаются придонными организмами, большую часть времени кормились на мелководье. При погружениях они часто выставляли на поверхности лопасти хвостового плавника, а на месте выныривания оставляли расплывающиеся грязно-зеленые пятна бентоса.

По бентосным съемкам (так называют пробы бентоса, взятые на маршруте) выяснилось, что киты кормились в самой богатой им западной части Охотского моря. Правда, ихтиологи считают, что бентос здесь не кормовой, но у рыб и морских млекопитающих могут быть разные вкусы.

По нашим наблюдениям, серые киты в прибрежных водах Сахалина сосредоточиваются в летний период только в районе залива Пильтун и появляются здесь лишь в июне после освобождения ото льда прибрежного мелководья. Нам не удалось обнаружить ни одного серого кита ни ранней весной, ни поздней осенью на путях их возможной миграции по прибрежной полосе до мыса Терпения. Мы не исключаем того, что в район Сахалина киты подходят не от Корейского п-ова, а из той части популяции (а может быть, и самостоятельной популяции), которая зимует и размножается

в прибрежных водах Японии.

Итак, у двух изолированных популяций серых китов — обитателей северной части Тихого океана — разные судьбы. Одна из них процветает, другая же только начинает возрождаться. Сейчас мы оцениваем ее численность примерно в 200 голов. Это лишь очень небольшая часть от того количества китов, которые, по словам С. П. Крашенинникова, обитали в Охотском море в конце XVIII в. «Китов ... великое множество. Часто подплывают они к берегам столь близко, что можно в них из ружья стрелять, а иногда трутся о самый берег, может быть стирая раковины, которых по телу их довольно».

Основными районами летнего обитания серых китов на Дальнем Востоке в те времена были заливы Сахалинский, Ульбанский, Академии, Тугурский, прибрежные воды восточного и южного Сахалина, западной Камчатки, залива Шелихова, Пенжинская и Гижинская губы. Теперь же большая часть китов остается и летом у берегов Корейского п-ова, и лишь немногие поднимаются в более северные воды. Судя по последним сведениям, кроме района залива Пильтун, киты стали появляться и в других местах: в ноябре 1984 г. один из нас — С. А. Блохин — видел двух серых китов в районе устья р. Опала (западная Камчатка), т. е. немножко южнее тех мест, где их в последний раз встречали в 1885 г., а совсем недавно капитан плашкоута А. В. Марценюк сообщил, что регулярно встречает серых китов в Татарском проливе.

Наблюдения последних лет вселяют уверенность, что численность корейско-охотской популяции начала, хотя и медленно, восстанавливаться, киты снова стали появляться в Охотском море, там, где они и прежде находили обильную пищу летом.

¹ Крашенинников С. П. Описание земли Камчатки. Т. 1. СПб, 1755. С. 297.

ДВОЙНАЯ ЖИЗНЬ АНТИКОДОНА

Л.Л.Киселев



Лев Львович Киселев, доктор биологических наук, заведующий лабораторией молекулярных основ онкогенеза Института молекулярной биологии АН СССР.

Специалист в области молекулярной биологии и генетики, генетической инженерии, онкобиологии, генетической энзимологии. Лауреат Государственной премии СССР. Награжден золотой медалью им. Г. Менделя Чехословацкой академии наук.

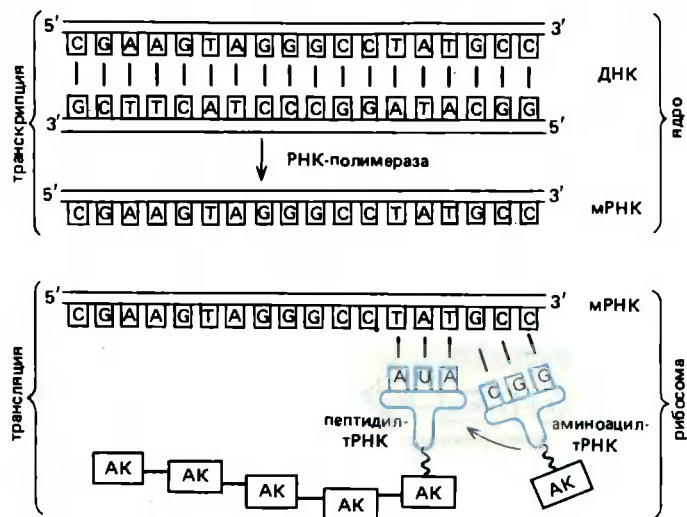
Генетическая информация, записанная в молекулах ДНК, содержит сведения о структуре десятков тысяч белков. Сложный путь передачи информации от ДНК к белку был и остается предметом пристального внимания специалистов по молекулярной биологии на протяжении последних двух десятилетий. За эти годы были сделаны такие основополагающие открытия, как расшифровка генетического кода, открытие матричных, или информационных, РНК (мРНК), адапторных, или транспортных, РНК (тРНК), информосом, расшифровка первичной структуры тРНК и другие.

К началу 60-х годов стала ясно общая, принципиальная схема потока информации от ДНК к белку, в которой можно выделить два основных этапа — транскрипцию и трансляцию. Первый из них протекает в ядре клетки и заключается в переписывании — транскрипции — генетической информации с ДНК на матричную РНК (отсюда и название самого процесса). Напомним читателю, что программа синтеза того или иного белка записана в ДНК языком кодонов, или триплетов, т. е. тройками последовательных нуклеотидов, каждая из которых кодирует одну из 20 природных аминокислот. Биосинтез мРНК осуществляется особым ферментом — РНК-полимеразой, который узнает определенную последовательность нуклеотидов в ДНК,

расплетает в этом участке двойную нить ДНК и начинает синтез мРНК из нуклеотидов, комплементарных (т. е. структурно дополнительных) нуклеотидам в цепи ДНК. Таким образом, программа, записанная и хранящаяся в ДНК, копируется в молекуле РНК. Причем химический язык передачи информации на этом этапе — единый, т. е. каждому кодирующему нуклеотиду ДНК соответствует комплементарный ему нуклеотид в мРНК. Такой способ переписывания информации можно сравнить с немецким текстом, переписанным с готического шрифта на латинский.

Следующий этап — трансляция — идет в рибосомах, клеточных органеллах, в которых собственно и происходит синтез белков. Сюда из клеточного ядра перемещается мРНК, с которой информация считывается с помощью других молекул РНК — транспортных. Эти короткие молекулы, состоящие всего из 75—90 нуклеотидов и синтезирующиеся так же, как и мРНК, в ядре, на матрице ДНК, сами не кодируют белок, но приносят на себе нужную аминокислоту в нужное место на матрицу кодирующей белок мРНК.

Для этих двух этапов передачи информации от ДНК к белку характерен единый принцип узнавания. И переписывание общего текста с ДНК на мРНК, и считывание отдельных



Принципиальная схема переноса генетической информации при биосинтезе белков на этапах транскрипции (ДНК-направленный синтез РНК) и трансляции (считывание мРНК в рибосомах с помощью тРНК). Участок двуспиральной ДНК кодирует участок полипептидной цепи синтезируемой молекулы белка. Фрагмент цепи мРНК синтезируется на одной из цепей ДНК по комплементарному принципу в ходе транскрипции («переписывания»). Информация, записанная в мРНК в форме последовательно расположенных троек нуклеотидов (кодонах, или триплетов), считывается в рибосоме с помощью комплементарного взаимодействия с тройками нуклеотидов (антикодонами), расположенными в центре молекул тРНК [трансляция]. Каждый кодон кодирует одну из 20 природных аминокислот и считается одним из антикодонов тРНК.

букв с мРНК на тРНК строится на едином основополагающем структурном принципе комплементарности взаимодействующих оснований, хотя химическое «оформление» этих процессов неодинаково: различаются сахара в полимерных цепочках (дезоксирибоза в ДНК и рибоза в РНК); кроме того, в состав РНК вместо тимина входит другое пиримидиновое основание — урацил; разумеется, различаются и белки, участвующие в транскрипции и трансляции. Тем не менее эти различия не нарушают структурного единства принципа узнавания.

Однако существует еще один промежуточный, но очень важный, так называемый вне-рибосомный, или цитоплазматический, этап реализации генетической информации, на котором аминокислота, прежде чем попасть в рибосому, специфически соединяется со своей тРНК (или, как говорят, акцептируется).

Наш рассказ и пойдет об этом наименее изученном этапе, который интересен тем, что здесь осуществляется особый, еще до конца не понятый способ узнавания двух химически разнородных молекул — аминокислот и нуклеиновых кислот.

Но прежде чем ответить на вопрос, как тРНК узнает свою аминокислоту, несколько слов о структуре самой молекулы тРНК. Эти, как мы уже говорили, не-

большие молекулы имеют сложную, частью двуспиральную простейшую структуру: вторичную структуру тРНК принято изображать в виде клеверного листа, а вся молекула тРНК, т. е. третичная структура, по своим внешним очертаниям напоминает латинскую букву L. Молекула тРНК свернута в пространстве так, что на одном ее длинном конце находится место, куда может прикрепиться аминокислота, — это так называемый акцепторный участок, а на другом, коротком, — особое сочетание из трех нуклеотидов, комплементарное соответствующему кодону мРНК и потому называемое антикодоном. Все тРНК имеют похожую структуру. Однако один участок, который называют вариабельной, или дополнительной, петлей, сильно отличается по длине: у большинства тРНК эта петля короткая, а у некоторых — длинная.

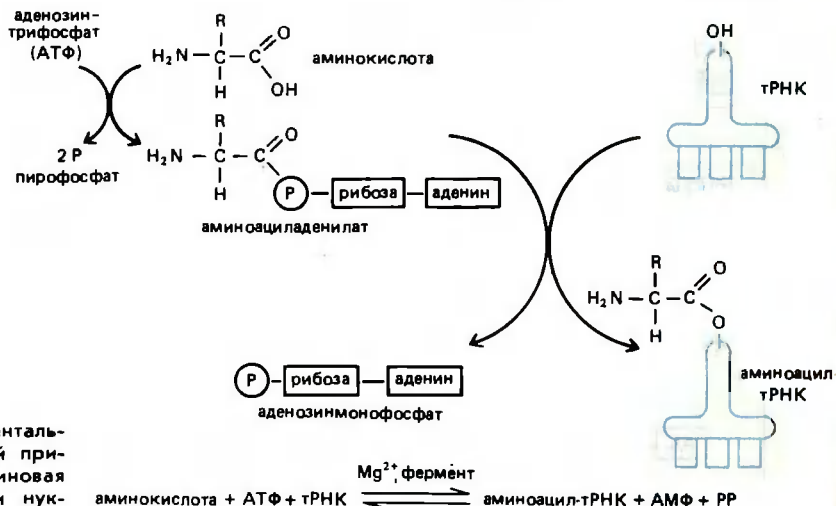
Как мы уже говорили, основная функция тРНК состоит в том, чтобы безошибочно отыскать свою аминокислоту в цитоплазме и доставить ее в рибосому, где по строго определенной программе осуществляется синтез белков. Молекулы тРНК связываются со своей аминокислотой в высшей степени специфично: каждой из 20 природных аминокислот соответствует несколько «своих», так называемых изоакцепторных тРНК.

Известно, что тРНК при-

соединяет к себе «чужую» аминокислоту исключительно редко, во всяком случае реже, чем 1 раз из 10 тысяч. Как же достигается такая «сверхспецифичность»? Можно предположить, что существует стереохимическое (пространственное) соответствие между аминокислотой и каким-то участком тРНК, и они узнают друг друга почти безошибочно. Такая гипотеза «прямого» узнавания, которую давно высказывали исследователи, до сих пор не получила экспериментальных подтверждений.

Однако большинство ученых считает, что секрет высочайшей точности связывания данной аминокислоты со своей тРНК (т. е. узнавания своей тРНК) лежит в третьем участвующем здесь партнере, а именно в молекуле фермента, который катализирует ковалентное соединение аминокислоты и тРНК. Иными словами, белковая молекула фермента (эти ферменты называют аминоацил-тРНК-синтетазами) находит отдельно свою аминокислоту и свою тРНК, а затем их соединяет. Образуется «треугольник» аминокислота — тРНК — фермент, в котором посредником, устанавливающим соответствие аминокислоты и тРНК, служит белковая молекула фермента. В отличие от двух ключевых этапов белкового синтеза, здесь нет однозначно комплементарного соответствия нуклеотид — нуклеотид, а узнают друг дру-

Реакция аминокислотирования тРНК. Молекулы аминокислоты соединяются с молекулой аденозинтрифосфата (АТФ) и образуют промежуточное богатое энергией соединение — аминокислотаденилат. Затем оно реагирует с 3'-концевой группой тРНК. Реакция катализируется ферментом, который здесь не показан, и идет в присутствии ионов Mg^{2+} . Внизу дана краткая запись реакции.



га два полимера фундаментально различной химической природы — белок и нуклеиновая кислота, аминокислоты и нуклеотиды.

Французский исследователь Ф. Шапвиль в лаборатории Ф. Липмана (США) показал, что олибка, допущенная ферментом при соединении аминокислоты с тРНК, т. е. ошибочное аминокислотирование «чужой» тРНК, в рибосоме не исправляется и потому искажает первичную структуру синтезируемой белковой молекулы. Отсюда становится понятным, что расшифровка механизма, с помощью которого в «треугольнике» безошибочно синтезируется аминокислот-тРНК, чрезвычайно важна для познания пути информационного потока от ДНК к белку и в конечном итоге для синтеза нужного белка. Еще в начале 60-х годов, когда стала ясной значимость этой проблемы для воспроизведения генетически заданной первичной структуры белков, были предприняты многочисленные попытки для ее решения.

Большие надежды здесь возлагались на рентгеноструктурный анализ комплексов тРНК — фермент. Полагали, что высокое разрешение метода позволит увидеть, какие химические группы фермента и тРНК узнают друг друга. Такой комплекс действительно был несколько лет назад получен в лаборатории Ж.-П. Эбеля (Франция), однако сделать какие-либо конкретные наблюдения не удалось.

В 1963 г. в Институте молекулярной биологии

АН СССР были выполнены опыты, в которых меняли структуру молекул тРНК, специфичных к разным аминокислотам, с помощью химических воздействий. Поскольку тогда первичные структуры тРНК еще не были известны (первая нуклеотидная последовательность тРНК была расшифрована в 1965 г.), нельзя было установить, в каком месте полинуклеотидной цепочки находятся измененные нуклеотиды. Однако удалось заметить, что если изменять нуклеотиды, входящие в состав антикодона (это было легко определить из генетического кода, который уже был известен), то такие молекулы тРНК перестают присоединять аминокислоту (теряют свою акцепторную способность). Если же изменяли те нуклеотиды, которых в антикодоне, согласно генетическому коду, быть не должно, то акцепторная способность тРНК ослабевала лишь незначительно.

На основании таких наблюдений возникла гипотеза, согласно которой фермент отличает свою тРНК от чужой по ее антикодону, а разные тРНК отличаются друг от друга своими антикодонами, т. е. «антикодон участвует в специфическом взаимодействии с аминокислот-тРНК-синтетазой»¹.

В последующие годы эти наблюдения были расширены и

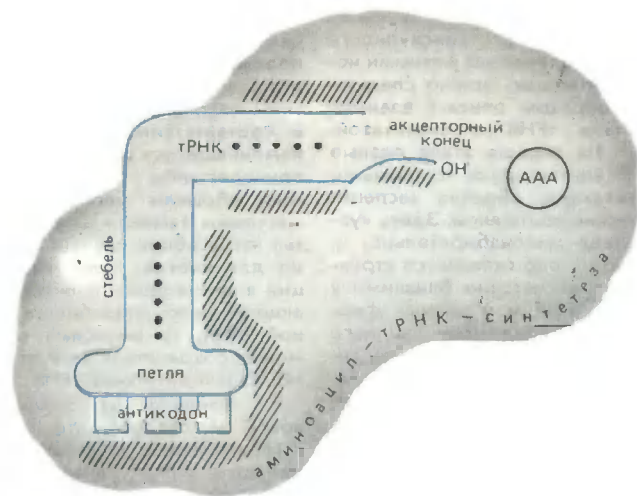
дополнены². Оказалось, что теми же свойствами обладают тРНК из разных источников: из одноклеточных (кишечная палочка, дрожжи) и многоклеточных (печень крысы) организмов. Кроме того, было доказано, что за потерю акцепторной активности тРНК ответственны те нуклеотиды, которые находятся на поверхности ее молекулы³. Как следовало из опытов, проведенных в Институте молекулярной биологии АН СССР, нуклеотиды антикодона также лежат на поверхности молекулы тРНК. Как известно, поверхностных нуклеотидов в молекуле тРНК мало — всего около 10 % от общего числа нуклеотидов, поэтому такое совпадение служит еще одним аргументом в пользу участия нуклеотидов антикодона в акцепторной функции.

Окончательно это предположение было доказано в 1970 г. на молекулах дрожжевой валин-специфичной тРНК (пер-

¹ Киселев Л. Л., Фролова Л. Ю. // Биохимия. 1964. Т. 29. С. 1177—1189.

² Фролова Л. Ю., Киселев Л. Л., Энгельгардт В. А. // Доклады АН СССР. 1965. Т. 164. С. 212—215.

³ Киселев Л. Л., Фролова Л. Ю., Александрова Н. М. // Мол. биол. 1967. Т. 1. С. 123—128.



Взаимодействие тРНК с аминокацил-тРНК-синтетазой. Фермент находит свою тРНК и окружает ее так, что молекула тРНК утапливается в белковой молекуле. В результате взаимодействия антикодона тРНК с химическими группами белка зона контакта обоих партнеров видоизменяется так, что акцепторный конец молекулы тРНК, который реагирует с аминокислотой (ААА), попадает в активный центр фермента. Точки обозначают спаривание оснований в двухспиральных областях тРНК. Фермент взаимодействует как с односторонними, так и с двухспиральными участками тРНК (показано штриховкой).

вичная структура этой тРНК была расшифрована А. А. Баевым и сотрудниками в 1967 г.). Оказалось, что модификация цитозинового основания в антикодоне этой тРНК гидроксиламином или его производным приводит к потере ее акцепторной способности⁴. А. А. Баев, А. Д. Мирзабеков и другие, используя разработанный ими метод «разрезанных» молекул, удаляли аденин и цитозин из антикодона, что полностью лишало молекулу валининовой тРНК ее активности⁵. Казалось бы, получены решающие аргументы в пользу ведущей роли антикодона во взаимодействии с ферментом. Однако потребовалось еще 15 лет напряженной работы многих лабораторий в разных странах мира, прежде чем роль антикодона в узнавании белка-фермента стала общепризнанной⁶.

Приведем некоторые, на наш взгляд, наиболее красивые, на наш взгляд,

и убедительные аргументы. О. Уленбек в США и группа исследователей в Японии разработали метод, который можно было бы с полным основанием назвать РНК-овой инженерией, в отличие от хорошо теперь известной генной, или ДНК-овой, инженерии⁷.

Суть метода состоит в том, что из антикодона тРНК ферментативным путем удаляют один или несколько нуклеотидов, а на их место внедряют другие, по выбору экспериментатора. В сущности, это настоящая «молекулярная хирургия», когда в структуре молекулы тРНК меняют одни нуклеотиды на другие. Хотя метод, конечно, требует очень чистых ферментов и большого экспериментального искусства, тем не менее с его помощью уже добыты ценные сведения о функциональной роли антикодовых нуклеотидов, а в дальнейшем он наверняка получит большое развитие.

Когда с помощью РНК-овой инженерии американские исследователи заменили в фенилаланиновой и тирозиновой тРНК из дрожжей одно или несколько оснований в антикодоне, это немедленно ска-

залось на их акцепторной активности. Самым, пожалуй, интересным было то, что антикодон тирозиновой тРНК, превращенный в антикодон фенилаланиновой тРНК (тело — тирозинное, голова — фенилаланиновое), сохранял в такой «химерной» молекуле небольшое средство к тирозиновой синтетазе и наделял ее свойством к фенилаланиновому ферменту.

Аналогичный подход использовала Л. Шульман (США) применительно к метиониновой тРНК из кишечной палочки. Здесь подмена оснований в антикодоне приводила к гораздо более серьезным последствиям, чем у двух предыдущих тРНК, — акцепторная активность в ряде случаев терялась полностью, хотя заменялись всего один или два нуклеотида. Такая модификация в структуре тРНК, безусловно, затрудняла белковый синтез.

РНК-овая инженерия возможна и в природе, без вмешательства молекулярной хирургии, с помощью мутаций (замен нуклеотидов) в генах тРНК в области антикодона. Такие мутации были получены, и выделены соответствующие тРНК. Оказалось, например, что триптофановая тРНК из кишечной палочки, в антикодоне которой изменено всего лишь одно основание, может присоединять еще и другую аминокислоту — глутамин. В глициновой тРНК из кишечной палочки мутационные замены оснований в антикодоне резко уменьшают сродство этой тРНК

⁴ См.: Киселев Л. Л., Никифоров В. Г., Астаурова О. Б. и др. // Молекулярные основы биосинтеза белков. М., 1971. С. 208.

⁵ Mirzabekov A. D., Lastit D., Levina E. S., Baev A. A. // Nature New Biology. 1971. V. 229. P. 21—22.

⁶ Киселев Л. Л. // Мол. биол. 1983. Т. 17. С. 928—948.

⁷ Свердлов Е. Д. Генная инженерия на службе здравоохранения // Природа. 1986. № 10. С. 3—13.

к глицил-тРНК-синтетазе и скорость аминоацилирования.

Можно сравнить нуклеотидные последовательности тРНК из разных источников, но присоединяющих одну и ту же аминокислоту, а также семейство изоакцепторных тРНК в одном организме, как известно, тоже акцептирующих одну аминокислоту. Если все эти тРНК могут взаимодействовать с одной и той же синтетазой (а так и происходит в ряде случаев), то правомерно предположить, что участки тРНК, по которым фермент узнает «свою» тРНК, должны быть одинаковы или похожи.

Действительно, если сравнить первичные структуры около 30 разных метиониновых тРНК, то оказывается, что в их структуре, кроме двух нуклеотидов антикодона, есть только одна общая пара нуклеотидов, все остальные позиции в структуре различаются. Значит, этот подход также позволяет приблизиться к выяснению природы участка узнавания.

Теперь, когда мы убедились, что роль антикодона, по крайней мере для ряда тРНК, доказана, обсудим, в чем конкретно она может заключаться.

Серьезные отрицательные последствия, возникающие при взаимодействии тРНК со своей синтетазой даже после одних замен в антикодоне, легче всего, вероятно, объяснить тем, что тРНК индуцирует в ферменте конформационные изменения, обеспечивающие взаимную «подгонку» субстрата и фермента. В нашей лаборатории было показано, что в триптофанил-тРНК-синтетазе под действием триптофановой тРНК белок меняет пространственную структуру. Более того, было обнаружено, что и сама тРНК, взаимодействуя с ферментом, также меняет свою структуру. Таким образом, в этой фермент-субстратной паре действительно происходит взаимная адаптация партнеров. Однако, если антикодон тРНК изменен, такой подгонки не наблюдается. К близким выводам пришла также группа исследователей, возглавляемая Ж.-П. Эбелем, работавшая с другими тРНК-синтетазными парами; так что, вероятно, речь

идет о достаточно общих явлениях.

Учитывая совокупность данных, полученных разными исследователями, можно следующим образом описать взаимодействие тРНК с синтетазой.

На первом этапе разные тРНК контактируют с разными синтетазами, образуя неспецифические комплексы. Здесь «узнавание» малоизбирательно, и, вероятно, оно связано со структурами, достаточно близкими у разных тРНК и у разных ферментов. По-видимому, в него вовлекается прежде всего антикодонная шпилька (стебель + петля). Если образовавшаяся пара неспецифична, то комплекс через некоторое время распадается без каких-либо последствий.

Но когда фермент и тРНК находят друг друга в соответствии с их общей аминокислотной специфичностью, то наступает второй этап, в котором антикодон (или вся антикодонная петля), взаимодействуя с химическими группами белковой молекулы, вызывает определенную структурную подгонку фермента и субстрата. Это приводит к тому, что зона контакта фермента и тРНК видоизменяется таким образом, что акцепторный конец молекулы тРНК попадает в активный центр фермента, чего не было на первом этапе. Это и есть истинное узнавание, и именно здесь проявляется важная роль антикодона.

Последний, третий этап можно назвать каталитическим, поскольку там аминокислотный остаток из аминоацил-аденилата переносится на акцепторный конец тРНК с образованием комплекса аминоацил — тРНК. Одна из интересных возможностей (пока экспериментально не доказанная) состоит в том, что участок фермента, узнающий антикодон, находится на одной субъединице, а активный центр — на другой. Это могло бы объяснить димерное строение подавляющего большинства ферментов этой группы.

По-видимому, контроль аминокислотной специфичности через строение антикодона биологически совершенно оправдан. Представим себе, что его нет. Тогда, скажем, валиновая

тРНК, испытав мутацию в своем гене по антикодону, будет включать аминокислоту валин не в те положения полипептидной цепи, которые предписаны генетическим кодом, а совсем в другие, в соответствии со структурой изменившегося антикодона. Это приведет либо к преждевременным обрывам цепей, либо к массовым заменам аминокислот, что в обоих случаях губительно для клетки. Если же мутация в антикодоне инактивирует акцепторную способность данной тРНК, то белковый синтез может сохраняться за счет других изоакцепторных тРНК.

Конечно, из сказанного вовсе не следует, что у всех тРНК специфика узнавания определяется только антикодомом. Во-первых, для тРНК, имеющих длинную дополнительную петлю, нет данных в пользу участия антикодона, и, возможно, для узнавания используется другой участок (или участки) тРНК. Во-вторых, важная роль антикодона в узнавании еще не говорит об абсолютном признании его роли и вовсе не отрицает существования еще одного участка специфического узнавания. Ряд данных, полученных на мутантных тРНК, указывает на такую возможность. Таким вторым участком мог бы оказаться так называемый акцепторный стебель, который вступал бы в действие после того, как антикодон осуществил свою функцию, или одновременно с ним, что менее вероятно.

Разумеется, проблема нуклеиново-белкового узнавания на внерибосомном этапе белкового синтеза еще не может считаться решенной прежде всего потому, что мы почти ничего не знаем о структуре белкового партнера. Однако, новые генно-инженерные подходы, включая «белковую» инженерию, сулят большие перспективы, и эта уже заслуженная проблема молекулярной биологии будет в конце концов полностью решена.

Сейчас мы можем констатировать, что старая гипотеза, высказанная больше 20 лет назад, оказалась справедливой: антикодон большинства тРНК играет существенную роль в узнавании «своего» фермента.

Биология

Древнейшие омары

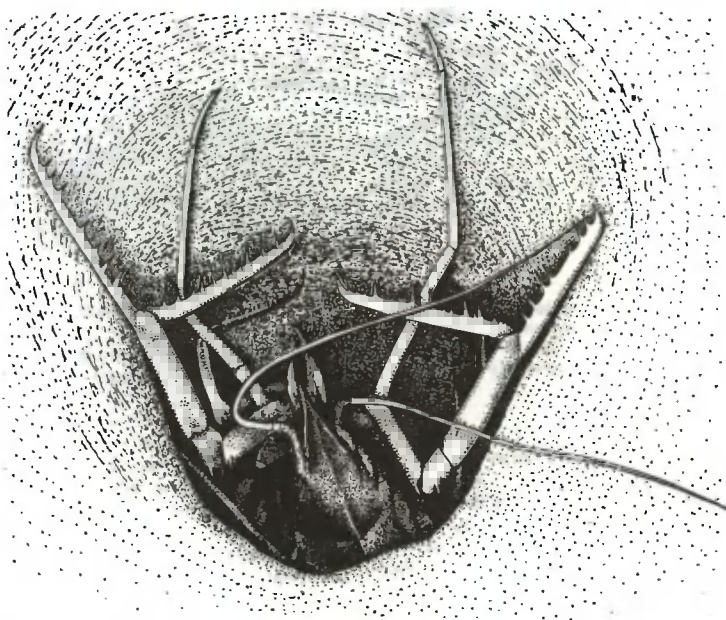
Р. Н. Буруковский,
доктор биологических наук

Атлантический научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии
Министерства рыбного хозяйства
СССР
Калининград

Б. И. Сиренко,
кандидат биологических наук
Зоологический институт АН СССР
Ленинград

В 1984 г. один из авторов заметки — Б. И. Сиренко — участвовал в рейсе научно-исследовательского судна «Одиссей», носителя подводного спускаемого аппарата «Север-2», к южным берегам Вьетнама. 20 сентября аппарат скользил над дном, иногда царапая его и даже сбивая дном маленькие бугорки. Из илистого грунта торчали прутьевидные морские перья, сидели, распуская лучи, актинии, попадались офиуры, полихеты из семейства Maldanidae, а также многочисленные голотурии из рода *Paelopotides*. Время от времени в луче прожектора вспыхивали парами огоньков глаза глубоководных креветок.

И вот на незначительном повышении дна встретились углубления в 30—40 см. Они располагались группами по 4—5 штук



Acanthacaris tenuimana, сидящий в норе.

на площади примерно 6×6 м. Похоже, что это были норы подводных жителей. Каждая нора состояла как бы из двора — ямы диаметром около метра, в одну сторону которого и уходила сама наклонная нора. Край некоторых нор были наполовину обрушены, отчего норы производили впечатление нежилых. И вдруг в свете прожекторов наблюдатели увидели нечто, напоминающее скелет: казалось, из илистого дна торчат ребра,

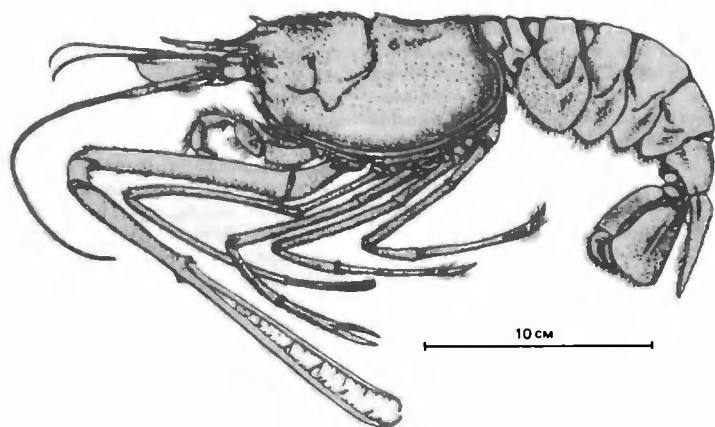
позвонки и другие кости. Но всем было ясно, что скелетов на дне не могло быть — кости в морской воде разрушаются быстро и без остатка.

Когда аппарат подошел метров на 5 ближе, наблюдатели увидели, что из норы, в точности такой, какие были обнаружены перед этим, высовывался огромный омар с широко раскрытыми длинными клешнями и длинными тонкими ногами (при их размерах тело могло быть не менее 40—45 см длиной). Сидел омар в уходящей вниз норе, а клешни, ноги, антенны, торчащие вверх в разных направлениях, имели вид скелета. Когда поток света упал на омара, он даже не пошевелился, усиливая своей непод-

вижностью сходство со скелетом.

Через 50—70 м в стороне была еще одна группа нор, из которых тоже торчали клешни, немного дальше — еще один

так за необычно большой размер, а на этот раз Б. И. Сиренко и В. Н. Сыса видели другого омара — *A. tenuimana*, впервые описанного почти 100 лет назад, в 1888 г.



Один из древнейших омаров — *Acanthacaris oripara*, пойманный у берегов Юго-Восточной Африки [по Р. Н. Буруковскому, 1976].

омар. Когда по ходу движения аппарата появилась очередная группа нор, акванавт В. Н. Сыса успел сфотографировать обитателя подводного жилища. За следующие полчаса были обнаружены еще две группы нор, но только в одной норе сидел омар. В общей сложности в полосе шириной около 6 м и длиной в 1,5 км удалось увидеть 6 омаров.

По фотографии второй автор заметки — Р. Н. Буруковский — опознал омара: он принадлежал к тому же роду, новый вид которого от берегов Юго-Восточной Африки еще в 1976 г. был описан Р. Н. Буруковским и Ю. И. Мусием¹. Тогда был акантакарис роскошный (*Acanthacaris oripara*), названный

В роде *Acanthacaris* известен еще один вид — *A. саеса*, в Мексиканском заливе и Карибском море. Отдельные экземпляры *A. саеса* были найдены в прошлом веке, а в 1968 г. из иллюминаторов подводного аппарата «Дипстар-400» омар был сфотографирован. Поза, в которой омар находился и которая очень напоминает позу *A. tenuimana*, защитная или охотничья: причудливо изогнуты клешеносные ноги, раскрыты под углом почти 180° клешни с направленными вперед зубцами, приподнято над грунтом брюшко с мощной мускулатурой, всегда обеспечивающей раку возможность ретироваться с большой скоростью. Судя по обломанному неподвижному пальцу левой клешни, у *A. саеса* есть враги, от которых надо прятаться в норах, как и его родственникам от южных берегов Африки и Вьетнама.

Мы очень мало знаем об акантакарисах, о многих сторонах их биологии можно только догадываться. В музеях мира этих омаров, пожалуй, меньше, чем знаменитой «ископаемой» латимерии. Из тех немногих сведений, которые сейчас накопились об омарях, одни получены из наблюдений за ними в аквариумах, другие — с помощью

телевидения при подводных погружениях. И даже эти знания по большей части касаются только трех промысловых видов — норвежского омара (*Nephrops norvegicus*), американского (*Homarus americanus*) и европейского (*H. gammarus*). Скудость сведений об омарях связана, в основном, с их образом жизни: днем они сидят в норе и только ночью выходят на поиски пищи.

Акантакарисы относятся к сравнительно небольшой группе десятиногих раков — надсемейству омаров. Сюда входят и самые крупные из всех доселе известных раков — американский и европейский омары (в среднем их масса составляет 4,5—7 кг, а в 1956 г. у о. Лонг-Айленд был пойман гигант массой 20,16 кг) и норвежский омар, значительно более скромных размеров.

Весь облик омаров сформирован норным образом жизни. Особенно характерна для них измененная крупная первая пара ног, несущая клешни (ноги с клешнями есть у всех норных или живущих в укрытиях креветок и других ракообразных). Вероятно, у всех ракохвостых (*Aspacura*), объединяющих надсемейства омаров и речных раков, клешни возникли как средство защиты. У эволюционно более древних омаров обе клешни еще одинаковы и похожи на клешни речных раков. У других они уже изменены в своеобразно изогнутые пинцеты. К этой группе примыкают и акантакарисы; их клешни тоже одинаковы, однако явно специализированы: каждая имеет цилиндрические ладони и длинные прямые пальцы, усаженные игловидными шипами. У глубоководного рода *Thaumastocheles* одна клешня значительно крупнее другой, ладони вздуты, а тонкие пальцы вооружены часто сидящими тоже тонкими иглами. У высших омаров (родов *Homarus* и *Nephrops*) правая и левая клешни резко отличаются друг от друга: одна с тупыми зубцами-наковальнями на пальцах (для раздавливания пищи), а другая — ровно и мелко зазубренная — служит для разрезания.

Эволюция клешней у омаров привела к появлению новых

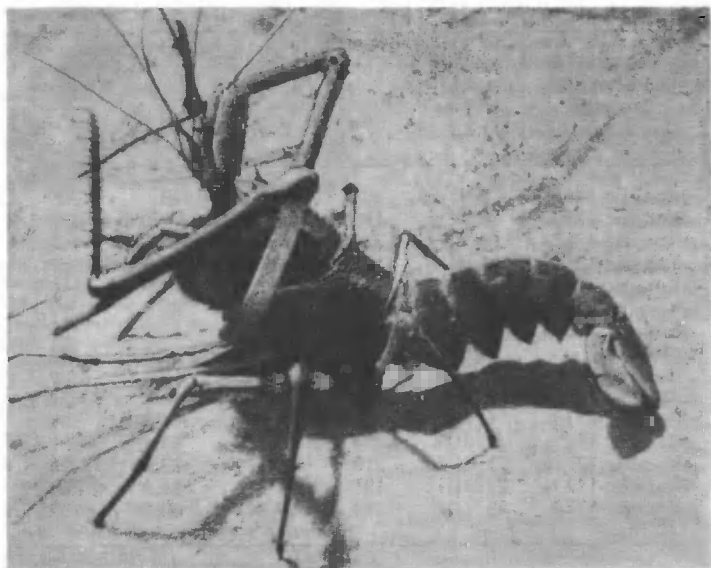
¹ Буруковский Р. Н., Мусий Ю. И. // Зоол. журн. 1976. Т. 55. С. 1811—1815.

функций, связанных уже не с защитой, а с добыванием пищи и ее обработкой. Пример такого эволюционного преобразования клешней — их строение у американского омара и

придонных слоев воды материкового склона, где они обитают, сравнимо со временем созревания икры у бореальных омаров. У норвежского омара, например, период эмбриональ-

вестны в ископаемом состоянии. Почти все современные роды омаров имеют своих ископаемых двойников. Есть они и у акантакарисов. В юрских отложениях были найдены остатки омара, названного *Palaeoroberus*, по клешням которого и по рисунку борозд на головогрудном панцире легко узнаются черты акантакарисов. Но в отличие от него юрский омар был обитателем илистых мелководий.

Акантакарисы по всем признакам являются собой пример «живых ископаемых», так и оставшихся боковой ветвью эволюции. Вытесненные с шельфа на материковый склон, они существуют там и поныне, довольствуясь доступными их узкоспециализированным субтильным клешням мягкотелыми жертвами и спасаясь от хищников в норах.



Обитатель Мексиканского залива и Карибского моря — *Acanthacaris saeae* — в позе защиты. Снимок сделан из подводного аппарата «Дипстар-400». (Из журн.: Bull. Mar. Sci. 1974. Vol. 22. P. 723.)

акантакариса. Первый из них питается моллюсками и иглокожими и имеет приспособления для раздавливания минерального скелета, а второй таких приспособлений не имеет, поскольку пищей ему служат мягкотелые животные вроде голотурий, а защищается он от хищников (тоже мягкотелых) с помощью клешней.

Хотя о биологии акантакарисов почти ничего не известно, несомненно, что живут они не один год и созревают, вероятно, в возрасте никак не менее 5 лет, если судить по американскому омару. Несомненно также, что они вынашивают икру под брюшком, а время инкубации ее при относительно низкой температуре

ного развития длится 28—32 недели. Об остальных стадиях развития мы ничего не знаем.

Известно, что личинки омаров плавают в толще воды, но после превращения в молодых омаров они оседают на дно и приступают к рытью U-образных нор в илистом грунте. Норвежский омар, за молодью которого велись наблюдения в аквариуме, роет не просто норы, а целые системы тоннелей с двумя типами входов — с пологим входом и кратером и с крутым входом без кратера. Днем омары скрываются в норе, а ночью выходят на поиски пищи. Плотность поселения норвежских омаров пока установлена только на небольшом участке в заливе Лох-Терридон (Шотландия). Здесь на каждых двух квадратных метрах дна вырыта одна нора, но заселены не все норы, а только 70 %. Европейский омар тоже предпочитает мягкое дно, но с камнями, валунами, под которыми и роет себе укрытие.

Животные надсемейства омаров довольно широко из-

Космические исследования

Запуски космических аппаратов в СССР (июль—август 1986 г.)

В июле—августе 1986 г. в Советском Союзе было запущено 15 спутников, в том числе 14 серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. Спутники «Космос-1762 и -1768» продолжают исследования природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с них передается в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Основные задачи запуска «Космоса-1766» — получение оперативной океанографической информации, а также продолжение отработки новых видов информационно-измерительной аппаратуры и методов дистанционных исследований поверхности и атмосферы Земли. Информация поступает в Государственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов и на автономные пункты приема информации Госкомгидромета для обработки и распространения.

Очередной спутник связи «Молния-1» обеспечивает эксплуатацию системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачу программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита».

В целях испытания на ресурс работы орбитальный космический комплекс «Салют-7» — «Космос-1686» 22 августа 1986 г. был переведен на орбиту с параметрами: высота в апогее 492 км, в перигее — 474 км, наклонение 51,6°, период обращения 94 мин. Коррекция орби-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град.	период обращения, мин
«Космос-1761»	5.VII	607	39 325	63	709
«Космос-1762»	10.VII	196	304	82,6	89,2
«Космос-1763»	16.VII	761	814	74,1	100,5
«Космос-1764»	17.VII	182	368	64,9	89,7
«Космос-1765»	24.VII	207	395	72,9	90,2
«Космос-1766»	29.VII	648	679	82,5	97,8
«Космос-1767»	30.VII	190	226	64,9	88,5
«Молния-1»	30.VII	658	40 615	62,9	736
«Космос-1768»	2.VIII	199	303	82,6	89,2
«Космос-1769»	4.VIII	438	456	65	93,3
«Космос-1770»	6.VIII	189	302	64,8	89
«Космос-1771»	20.VIII	254	278	65	89,6
«Космос-1772»	21.VIII	210	370	72,9	90
«Космос-1773»	27.VIII	181	366	64,9	89,7
«Космос-1774»	28.VIII	614	39 342	62,8	709

ты была выполнена с помощью двигательных установок станции и корабля-спутника «Космос-1686».

22 августа 1986 г. в Москве был подписан протокол о подготовке и проведении в 1988 г. совместного пилотируемого советско-болгарского космического полета на орбитальном научном комплексе «Мир» — «Союз». Протокол подписали с советской стороны — начальник Главкосмоса СССР А. И. Дунаев, с болгарской — вице-президент Болгарской академии наук, председатель Национального комитета по исследованию и использованию космического пространства БАН академик М. Давков.

Космические исследования

Трансполярные дуги

Испокон веков зрелище полярных сияний, загадочных «северных огней», волновало воображение и будило любопытство. Недавно их удалось

увидеть и сверху, с высоты более 20 тыс. км, со спутника «Dynamics Explorer-1». Большая работа, посвященная этим измерениям, написана с необычным для научных статей эмоциональным накалом — авторы пытались передать чувства, которые они испытывали, «глядя» с помощью своих приборов на северную «макушку» Земли и «пролетая» непосредственно через дуги полярных сияний.

Обнаружено новое явление — трансполярные сияния, относительно узкой полосой тянущиеся через всю полярную шапку с дневной стороны Земли на ночную. Обычно полярные сияния сосредоточены внутри так называемого аврорального овала, хорошо изученного по наземным наблюдениям. Сверху авроральный овал представляется светящимся кольцом, расположенным на высоких широтах (часть его обычно падает на освещенную полусферу Земли, и поэтому при спутниковых наблюдениях пришлось использовать специальные фильтры). Овал вместе с пересекающей его трансполярной дугой выглядит как греческая буква



Изображение северной авроральной зоны Земли и полярной шапки, полученное на спутнике «Dynamics Explorer-1» с высоты около 20 тыс. км. Кроме освещенного дневного полушария, видно свечение аврорального овала и трансполярной дуги (вместе они составляют букву Θ). Белая линия — проекция траектории спутника.

!), поэтому авторы часто называют описываемое ими явление Тэта-авророй.

Коллектив, возглавляемый Л. Франком (L. Frank; Университет штата Айова, США), состоит из специалистов по физике плазмы; они комплексно рассмотрели практически все аспекты нового явления. Проводились дополнительные измерения и с малых высот (около 900 км) на спутнике «Dynamics Explorer-2», орбита которого расположена в той же плоскости, что и у «DE-1».

Исследовалось движение плазмы в полярной шапке. Внутри трансполярной дуги плазма движется к Солнцу. Во всех остальных областях полярной шапки — от Солнца. Картина конвекции, объясняющая такие движения, содержит четыре вихря, внутри которых происходит движение ионосферной плазмы. Согласно теории, магнитосферная конвекция может иметь такую структуру, когда межпланетное магнитное поле направлено параллельно геомагнитному полю на границе магнитосферы Земли (т. е. к северу). И действительно, в спутниковом эксперименте почти всегда трансполярные дуги наблюдались при северном направ-

лении межпланетного поля. Частицы высоких энергий солнечного происхождения над дугами не зарегистрированы. Поэтому авторы делают вывод, что трансполярные дуги лежат на замкнутых магнитных силовых линиях, т. е. линиях, не выходящих в межпланетную среду.

Теория Тэта-авроры к настоящему времени отсутствует. Пока сделан существенный шаг в создании надежного экспериментального фундамента для построения физической картины явления. Необходимо исследовать Тэта-аврору и над Южной шапкой, чтобы понять, возникают ли эти явления одновременно в обоих полушариях. В будущих проектах исследования магнитосферы предполагается проводить наблюдения полярных сияний и синхронные с ними измерения плазмы и электромагнитных полей как над полярной шапкой, так и в магнитосферном хвосте — той области, откуда движется плазма, наблюдаемая в светящихся дугах.

Journal of Geophysical Research.
1986. Vol. 91. p. 3177—3224 (США).

Астрофизика

Механизм отрыва кометных хвостов

Астрономам давно известно явление отрыва, или отсоединения, кометных хвостов. Перед отрывом свечение головы кометы и самого хвоста усиливается, хвост становится тоньше, а затем внезапно отрывается, причем обычно вблизи головы кометы. Отрывающаяся часть уносится с ускорением до $0,2 \text{ м/с}^2$, и в это же время у кометы начинает отрастать новый хвост.

Существовало несколько объяснений такого явления: ядро кометы внезапно прекращает выделять газы (непонятно, правда, по каким причинам); комета пересекает границу сектора межпланетного магнитного поля. При этом межпланетные силовые линии, которые формируют хвост кометы, меняют свое направление, поэтому хвост на

время должен исчезнуть¹. Оказалось, однако, что хвосты отсоединяются и там, где нет секторов межпланетного магнитного поля. Все эти трудности заставили исследователей обратиться к другому типу моделей, связывающих отрыв хвоста с пересоединением магнитных полей в ближней к коме области кометного хвоста.

Группа исследователей из Калифорнийского университета и Лаборатории плазмы ВМС США предложила «новую» модель, объясняющую отрыв хвоста. Кавычки поставлены потому, что авторы фактически перенесли на комету все представления о спонтанном пересоединении, которые развивались применительно к явлениям в магнитном хвосте Земли во время магнитосферной суббури. Действительно, в дальних областях земного магнитосферного хвоста приборами космического аппарата «ISEE-3» были обнаружены быстро движущиеся плазменные образования (плазмоиды) размером в несколько земных радиусов; их можно рассматривать как разреженный (и потому не светящийся) аналог оторванного кометного хвоста. Его ускорение в анти-солнечном направлении можно объяснить, учитывая, что магнитные силовые линии, формирующие его, образуют конфигурацию, которая напоминает магнитную рогатку. После того как вблизи комы произойдет пересоединение магнитных силовых линий, ничто более не удерживает их (натянутая рогатка опущена), и хвост уносится потоком солнечного ветра. Поскольку комета продолжает двигаться сквозь солнечный ветер и выделение газов из ее ядра продолжается, то сразу после отрыва старого хвоста у кометы начинает отрастать новый.

¹ Образование хвостов у комет и таких «немагнитных» небесных тел, как Венера, происходит сходным образом. Чтобы лучше представить себе форму хвоста, можно обратиться к рисунку в статье: Вайсберг О. Л., Зеленый Л. М. Взаимодействие солнечного ветра с Венерой // Природа. 1983. № 6. С. 26—31.

Более сложен вопрос о тех явлениях, которые могут инициировать пересоединение и, следовательно, отрыв хвоста. Стало ясно, что аналогию с магнитосферой Земли теперь проводить нельзя, поскольку собственное магнитное поле у кометы отсутствует. Скорее всего, все происходит из-за скачков в скорости солнечного ветра: поток силовых линий магнитного поля, ежесекундно вносимых в хвост солнечным ветром, зависит от его скорости, и при попадании кометы в область быстрого потока в хвосте начинается «накапливаться» магнитное поле. В результате кометный хвост становится тоньше и отрывается.

Работа американских специалистов, о которой мы рассказываем в этой заметке, была послана в печать еще до пролета космического аппарата «ISE» через хвост кометы Джакобини—Циннера². Измерения, выполненные во время этого пролета, подтвердили, что кометный хвост состоит из двух пучков почти антипараллельных магнитных силовых линий (т. е. конфигурация «склонна» к пересоединению). Более того, данные о параметрах плазмы и магнитного поля в хвосте, по нашим оценкам, хорошо согласуются с моделью спонтанного пересоединения за счет развития разрывной неустойчивости в ближней к коме части хвоста.

Л. М. Зеленый,
кандидат

физико-математических наук
Москва

Астрофизика

Поиски далеких квазаров

Почти четверть века назад, в 1963 г., М. Шмидту (США) удалось отождествить широкие эмиссионные линии в оптическом спектре радиоисточника 3C 273 с сильно смещенными в красную сторону линиями бальмеровской серии водорода.

Так было положено начало изучению квазаров.

Среди многих замечательных свойств этих объектов наиболее ценное — их уникальная космологическая значимость: благодаря рекордно высокой светимости квазары «видны» на таких расстояниях (или на таких красных смещениях Z), где никакие другие объекты невозможно наблюдать даже с помощью самых современных телескопов¹. Изучая распределение квазаров по Z , можно попытаться нарисовать космологическую природу мира в наиболее крупном из доступных масштабов. Многое, однако, остается загадочным. При небольших Z средняя пространственная плотность квазаров данной светимости растет по мере удаления в прошлое (т. е. с увеличением Z). Эффект заметен тем сильнее, чем выше светимость. Однако такая зависимость не остается монотонной. Начиная с $Z \approx 2,5$ —3,0, плотность распределения квазаров существенно уменьшается. Отметим, что наиболее далекие из известных квазаров (самый далекий — квазар PKS 2000—330 с $Z \approx 3,78$) имеют столь высокую светимость, что были бы доступны для современных наблюдений и с существенно больших расстояний, соответствующих $Z \approx 4,0$ —6,0.

В чем причина видимого отсутствия квазаров при $Z > 3,5$? Связан ли этот эффект с несовершенством методики наблюдений, или мы имеем дело с реальным астрофизическим фактом, чрезвычайно важным для понимания космологической картины мира? М. Шмидт и Д. Шнайдер (М. Schmidt, D. Schneider; Калифорнийский технологический институт, США) и Дж. Ганн (J. Gunn; Принстонская обсерватория, Нью-Джерси, США) на 5-метровом телескопе обсерватории Маунт-Паломар провели глубокий обзор неба. Исследовалась область небесной сферы площадью 0,91 квадратного градуса. В ней были получены спект-

ры более чем 9000 объектов, в том числе 10 квазаров с красным смещением от 0,91 до 2,66. Такое количество квазаров хорошо согласуется с предложенной ранее М. Шмидтом и Р. Гринном моделью распределения квазаров².

Экстраполяция этой модели на большие Z позволяла ожидать, что будут обнаружены от 40 до 121 квазара с Z от 2,7 до 4,9. Полное отсутствие таких квазаров привело авторов к выводу о реальности «выключения» в распределении квазаров при $Z \geq 3,0$ со светимостью, соответствующей абсолютной звездной величине —25 и меньше. Совершенная методика наблюдений почти не оставляет сомнения в том, что квазары с $Z \geq 3,5$ не просто по какой-то причине не наблюдаются, а физически не существуют. Если эта точка зрения правильна, то к эпохе эволюции Вселенной, примерно соответствующей $Z \approx 3,5$, придется относиться как к своеобразному «питомнику», где провели свою раннюю молодость наиболее удаленные от нас во времени и пространстве дискретные объекты Вселенной.

Astrophysical Journal, 1986. Vol. 306.
P. 411—427 (США).

Астрофизика

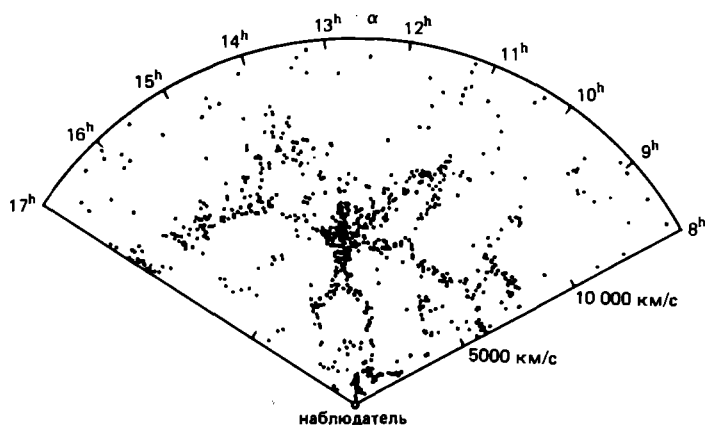
Вселенная в разрезе

Известно, что галактики распределены в пространстве очень неоднородно. Характеристики областей их сгущения и разрежения служат важными признаками, по которым теоретические модели сравниваются с наблюдениями. В разных вариантах теорий, объясняющей происхождение крупномасштабной структуры Вселенной, делаются различные предсказания о размерах и типичных формах областей как повышенной, так и пониженной плотности ве-

² О результатах исследования этой кометы см.: Изучается хвост кометы // Природа. 1986. № 5. С. 104.

¹ Шандарин С. Ф. Самая далекая галактика // Природа. 1986. № 3. С. 101—102.

² Schmidt M., Green R. F. // Astrophys. J. 1983. Vol. 269. P. 352.



Карта распределения галактик по скоростям удаления от наблюдателя в зависимости от прямого восхождения α , измеряемого в часах ($1h=15^\circ$). Точки — положения 1061 галактики, имеющих видимую величину не больше $15^m,5$ и скорость, не превышающую $15\,000$ км/с. Различны пустые области (ячейки), отделенные друг от друга «стенками», в которых сосредоточено большинство галактик.

щества. При сравнении теории с наблюдениями особую роль играют неоднородности, имеющие размеры свыше 10 Мпк (30 млн световых лет).

Интернациональная группа астрономов из Астрофизического центра Гарвардского университета (США) представила новые данные о распределении галактик в тонком слое пространства, лежащем в направлении богатого скопления галактик Кома. Как оказалось, галактики образуют хорошо различимую пенистую, или ячейчатую, структуру. Типичный размер пустых ячеек составляет $25\ h^{-1}$ Мпк, где h — безразмерный параметр Хаббла (сейчас принято считать, что h заключен в пределах $0,5-1$).

Рассматриваемая область ограничена на небесной сфере полосой $6 \times 117^\circ$, а в глубину простирается до расстояния $150\ h^{-1}$ Мпк. В ней находится 1100 галактик, имеющих видимую величину ярче, чем $15^m,5$. Для всех галактик измерены скорости удаления от наблюдателя, с помощью которых по соотношению Хаббла $v=H_0 r$ мож-

но рассчитать примерное расстояние до галактик. Поскольку величина постоянной Хаббла по разным оценкам колеблется от 50 до $100\ \text{км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$, то и расстояния до объектов определяются неточно.

Так как изображенные на рисунке галактики занимают очень тонкий слой и тем самым дают пространственное распределение галактик как бы в разрезе, по нему можно представить общую картину пространственного распределения галактик во Вселенной. Они концентрируются в стенках гигантских ячеек, внутренние области которых пусты.

Возможность образования такой структуры была предсказана теоретически еще в середине 70-х годов московскими астрофизиками, работавшими над проблемой образования галактик под руководством Я. Б. Зельдовича. Структура, названная тогда ячейчатой, возникает при определенных условиях под действием механизма гравитационной неустойчивости. В последующие годы астрономы-наблюдатели находили свидетельства как за, так и против такой крупномасштабной ячейчатой структуры. Привести решающие аргументы не удалось из-за недостатка данных о расстояниях до галактик; измерение их — очень трудная задача, требующая длительных наблюдений на больших телескопах с использованием высокочувствительных электронных светоприемников.

На сегодня данные гарвардской группы наилучшие.

Они наглядно демонстрируют существование ячейчатой структуры (американские астрономы, правда, называют ее пенистой — но дело не в названии!). При этом пустые области, отличающиеся поразительно четкими очертаниями, имеют размеры, хорошо согласующиеся с теоретическими оценками.

Astrophysical Journal Letters. 1986. Vol. 302. № 1. L1—L4 (США).

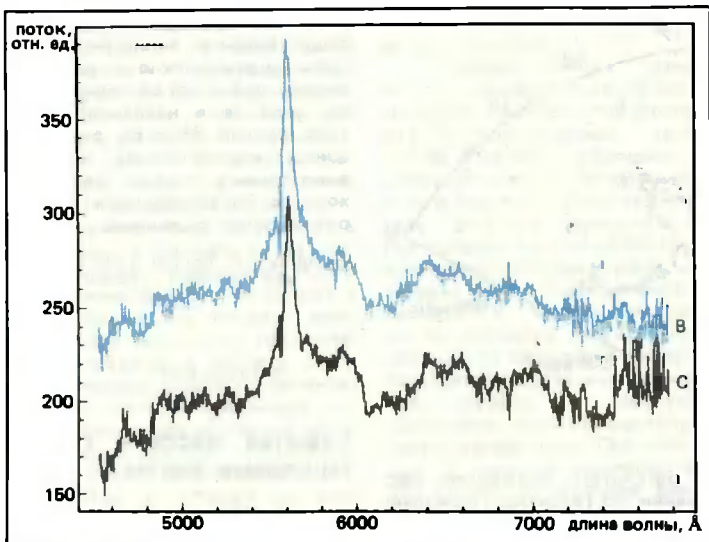
Астрофизика

Скрытая масса и гравитационные линзы

Проблема скрытой массы впервые возникла при изучении динамики движения звезд в галактиках: у многих галактик зависимость орбитальной скорости вращения звезд от радиуса не отвечала тому распределению массы в галактике, которое вытекало из видимого распределения яркости. (Отсюда и возникло название «скрытая», т. е. невидимая, масса.) Проблема становилась тем острее, чем более подробный характер приобретали сценарии космологической эволюции галактик и их скоплений. Сейчас в качестве возможных носителей скрытой массы рассматриваются самые разнообразные объекты — от нейтрино с ненулевой массой покоя до холодных карликовых звезд и черных дыр, населяющих периферийные области галактик. Все более важная роль отводится и таким пока экспериментально не обнаруженным видам материи, как «струны»¹. Их масса также может проявлять себя как скрытая — только гравитационным воздействием на видимую материю.

В марте 1986 г. американские астрофизики Э. Тернер (E. Turner; Обсерватория Прин-

¹ Подробнее о струнах см.: Нестеренко В. В. Релятивистские струны: от мыльных пленок к объединению фундаментальных взаимодействий // Природа. 1986. № 11. С. 13—20.



Оптические спектры квазаров 1146+111 В и С.

стонского университета, Нью-Джерси), Б. Берк (В. Burke; Массачусетский технологический институт) и М. Шмидт (М. Schmidt; Калифорнийский технологический институт) провели наблюдения квазаров 1146+111 В и С с помощью 4-метрового телескопа Национальной обсерватории Кит-Пик. Это известные источники, которые, как считали раньше, находятся в области «повышенной» концентрации квазаров. В ходе проведенных наблюдений были получены детальные оптические спектры этих квазаров (см. рис.).

Удивительное сходство этих спектров возродило высказывавшуюся ранее гипотезу, согласно которой наблюдаемая в данной области небесной сферы повышенная концентрация квазаров не что иное, как проявление эффекта гравитационной линзы². С большей или меньшей достоверностью сейчас известно 7 случаев гравитационного «линзирования» внегалактических источников. Данный

случай кардинальным образом отличается от всех известных; угловое расстояние между изображениями квазара составляет около 157" (т. е. более чем в 10 раз превышает обычное, равное нескольким угловым секундам).

Если источники 1146+111 В и С действительно представляют собой изображения одного и того же объекта, «построенные» гравитационной линзой, то прежде всего следует установить природу этой линзы. Ею может оказаться, например, богатое скопление галактик или, как предлагается в более экзотических вариантах, сверхмассивная черная дыра с массой до 10^{15} масс Солнца или даже космологическая «струна». Однако в любом случае речь идет об объекте, проявляющем себя только гравитационным полем, и в этом смысле вполне соответствует термину «скрытая» масса.

После сообщения об описанном наблюдении был предложен целый ряд наблюдательных тестов для раскрытия природы двойного объекта 1146+111 В, С. Можно ожидать, что новые эксперименты не оставят астрофизиков без пищи для размышлений.

Nature. 1986. Vol. 321. P. 142—144 (Великобритания); Princeton Observatory Preprint. № 173. 1986 (США).

К чему приводит столкновение галактик

Столкновение или близкий взаимный пролет двух галактик — грандиозный процесс, наблюдать который в динамике нам не суждено, ведь его длительность исчисляется сотнями миллионов лет. На помощь приходит математическое моделирование: представив две галактики в виде систем гравитационно взаимодействующих точек-«звезд», с помощью ЭВМ можно рассчитать результат их тесного сближения, потратив не миллионы лет, а всего несколько часов.

В таких расчетах было доказано, что экзотические детали, наблюдаемые у взаимодействующих галактик, — мосты, хвосты, перемычки, искривления дисков и т. п. — при численном моделировании действительно образуются. Но некоторые особенности взаимодействия галактик расчеты не объясняли. Например, почему цвет таких галактик нередко сильно отличается от цвета одиночных галактик; с чем связана их повышенная рентгеновая светимость; наконец, почему при численном моделировании никогда не получаются кольцеобразные галактики, давно уже привлекающие внимание астрономов.

По-видимому, математическая модель галактики в виде набора одинаковых взаимно притягивающихся точек-«звезд» — слишком грубое подобие реальной звездной системы. Ведь внешний вид и цвет галактики определяются прежде всего молодыми, яркими, массивными звездами, которые живут недолго и располагаются в областях интенсивного звездообразования. Значит, чтобы увидеть результат взаимодействия галактик, нужно в первую очередь проследить за судьбой межзвездного газа — строительного материала для молодых звезд.

Такую модель создали японские астрономы М. Ногучи и С. Ишибаси (М. Noguchi, S. Ishibashi). Кроме обычных точек-«звезд», имитирующих старые звезды галактики, в мо-

² Подробнее об этом см.: Блюх П. В., Минаков А. А. Гравитационные линзы // Природа. 1982. № 11. С. 59—69.

дели есть также точки — «молодые звезды» и «газовые облака», которые вообще не являются точками, а имеют конкретный размер, могут сталкиваться друг с другом, слипаться и, наконец, сжиматься, порождая в своих недрах «молодые звезды». В свою очередь, «молодые звезды» ярко светятся в течение нескольких миллионов лет (условно, конечно!), а затем взрываются как сверхновые, расталкивая своими расширяющимися оболочками «облака» и увеличивая их хаотические скорости. Именно такая картина взаимодействия звезд и газа в галактиках вырисовывается у астрономов в последние годы; ее-то и попытались смоделировать японские астрономы.

Численное моделирование показало, что при близком пролете двух галактик подсистема их газовых облаков ведет себя не так, как звездная подсистема галактического диска. В то время как звезды формируют перемычки между галактиками или сильно развернутые спиральные ветви, облака образуют кольцообразную структуру, радиус которой меньше радиуса звездного диска. Влияние соседней галактики нарушает плавное движение облаков по круговым орбитам: они чаще сталкиваются друг с другом — усиливается процесс образования звезд. Через несколько сотен миллионов лет после пролета галактик через точку наибольшего сближения процесс образования звезд, стимулированный их гравитационным взаимодействием, достигает максимальной интенсивности и может в 10 раз превышать нормальный темп рождения звезд в изолированной галактике.

Большое количество молодых звезд заметно изменяет цвет взаимодействующих галактик (они становятся более голубыми), а остатки этих звезд — плотные релятивистские объекты (нейтронные звезды, черные дыры), — движущиеся в паре с массивными нормальными звездами, становятся мощными источниками рентгеновского излучения, существенно усиливая светимость галактик в этом диапазоне.

В целом результаты моделирования хорошо согласуются с наблюдениями.

Monthly Notice Royal Astronomical Society. 1986: Vol. 219. № 2. P. 305—331 (Великобритания).

Астрономия

Сколько галактик в скоплениях и сверхскоплениях?

Основываясь на подсчете числа галактик на фотопластиках, астрономы долгие годы полагали, что лишь небольшая доля галактик (около 5 %) входит в состав крупных («богатых») скоплений. При этом подсчеты ограничивались расстоянием в 3 Мпк от центра скопления: именно таков «стандартный» радиус скопления галактик, введенный в конце 50-х годов американским астрономом Дж. Эйблом¹. Хотя сам Эйбл выбрал эту величину весьма условно, долгие годы астрономы полагали, что внутри эйбловского радиуса заключена основная часть галактик любого скопления.

Как уже не раз случалось, первый этап изучения скоплений выявил лишь наиболее плотные центральные их части, а периферия оказалась трудно различимой «на глаз»; ее удалось обнаружить лишь с помощью тонких математических методов. Речь идет о работе американского астронома Н. Бакол (N. Bahcall), в которой исследовались свойства пространственной корреляционной функции галактик и их скоплений. Корреляционная функция описывает неоднородность распределения объектов в пространстве, взаимную зависимость их положения от положения соседей.

Как показала Н. Бакол, для согласования корреляционных функций галактик и их скоплений необходимо считать,

что в скопления входит около 25 % всех галактик. Очевидно, что расположены эти галактики далеко за пределами эйбловского радиуса скоплений (3 Мпк), в области, которую можно называть короной, или гало скопления (сама Н. Бакол называет ее «хвостом»). Радиус этой области, вероятно, раз в 20 превышает эйбловский.

Учитывая, что половина всех богатых скоплений входит в состав сверхскоплений — гигантских систем размером в сотни мегапарсек, Н. Бакол полагает, что по крайней мере 12 % галактик также является членами сверхскоплений.

А что же остальные галактики? Большая их часть (но не 95 %, а только 75 %) либо входят в небольшие группы, содержащие менее 50 членов, либо являются одиночными галактиками. Их положение в пространстве не коррелирует друг с другом, на что указывают как прямые подсчеты видимых галактик, так и распределение в пространстве очень далеких галактик, присутствие которых выдают линии поглощения в спектрах некоторых квазаров.

Очень важен вопрос о границах скоплений галактик, о взаимном влиянии скоплений и об обмене между ними отдельными галактиками. Если размер скоплений действительно исчисляется десятками мегапарсек, как это следует из работы Н. Бакол, то взаимодействие скоплений является важным фактором их эволюции.

Astrophysical Journal. 1986. Vol. 302. № 2. P. 41—42 (США).

Физика

Экспериментальная проверка специальной теории относительности

Преобразование энергии и импульса при переходе от одной инерциальной системы координат к другой дается в специальной теории относительности формулами Лоренца. В частности, энергия фотона E

¹ При постоянной Хаббла $H_0 = 50 \text{ км/с} \cdot \text{Мпк}$.

в системе координат, движущейся относительно лабораторной системы со скоростью v , следующим образом связана с его энергией E_0 в лабораторной системе:

$$E = E_0 \gamma (1 + \beta \cdot \cos \theta).$$

Здесь θ — угол между направлением движения фотона и вектором скорости v ; $\beta = v/c$, где c — скорость света; $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$ — релятивистский Лоренц-фактор. Для релятивистских скоростей (т. е. скоростей, близких к скорости света) величины β и $\gamma - 1$ заметно отличаются от нуля, а значит, и энергия E от E_0 .

Экспериментальная проверка релятивистского Доплер-эффекта (преобразования энергии) была осуществлена недавно в Лос-Аламосской Национальной лаборатории (США). Исследовалось возбуждение релятивистского пучка нейтральных атомов водорода светом лазера. Атомы водорода имели кинетическую энергию, равную 800 МэВ, т. е. величина β была для них довольно близка к единице ($\beta = 0,84$). Неодимовый лазер, дающий фотоны с энергией $E_0 = 4,66$ эВ, освещал атомный пучок под разными углами θ , что позволяло в системе координат, движущейся со скоростью атома водорода, менять энергию фотонов от 1,4 эВ до 15,8 эВ. Такие фотоны могли возбуждать электронные переходы атома водорода с уровня 1 s на p-уровень (p — целое число). Возбужденные водородные атомы затем ионизовались, и ток положительно заряженных ионов водорода (протонов) позволял измерить величину энергии фотонов E .

Результат опытов состоит в том, что отношение теоретической величины энергии, даваемой преобразованием Лоренца, к экспериментально измеренной величине энергии равно $1,00004 (\pm 0,00027)$. Это означает, что формула релятивистского преобразования энергии верна с точностью до $2,7 \cdot 10^{-4}$. Как сообщают авторы, точность измерений в ближайшее время будет повышена в тысячу раз. Physical Review Letters, 1986. Vol. 56. № 4. P. 282—285 (США).

Физика

Лазерная технология обработки мрамора

Лазерный луч — уникальный инструмент, позволяющий плавить, испарять или взрывообразно разрушать любые материалы с образованием минимальных зон локального разогрева и разрушения, близких по размерам к диаметру сфокусированного светового пучка. Однако в ряде случаев, например в материалах с малой теплопроводностью, быстрый нагрев, испарение и переход обрабатываемых веществ в состояние плазмы сопровождаются возникновением термических напряжений, образованием трещин и других дефектов в зонах, значительно превышающих размеры пучка. С другой стороны, образование пара и плазмы, взрывное выбрасывание из зоны действия лазерного луча частиц обрабатываемого материала часто приводит к экранированию энергии лазера, повышая энергоемкость процессов обработки и снижая эффективность лазерных технологий. Для предотвращения вредных побочных эффектов необходимы оптимальные режимы воздействия на обрабатываемые материалы.

В Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР под руководством Н. Г. Басова разработан высокоэффективный метод обработки мрамора. Основным химическим компонентом мрамора и известняков является карбонат кальция, который при поглощении энергии разлагается в интервале температур 825—950 °С с образованием окиси кальция (CaO) и углекислого газа. Если удалить из зоны действия лазерного пучка окись кальция, расплавляя ее и продувая мощным потоком воздуха, энергоемкость процесса резания мрамора составит 10^3 — 10^5 кВт·ч/м³; при этом ширина получаемой щели составит 3 мм. В новом способе удельная энергоемкость процесса снижается в 10 и более раз за счет того, что резка производится с применением струи воды или водяного пара. Реализуется другой механизм удаления CaO из зоны действия

лазерного луча, основанный на взаимодействии окиси кальция с водой с образованием гидроксидов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и требующий меньших энергетических затрат. При плотности мощности сфокусированного ИК-излучения CO_2 -лазера около 10^3 — 10^4 Вт/см² глубина щели за один проход лазерного луча достигает 40 мм. Можно резать плиты любой длины со скоростью до 5 м/ч. При этом толщина зоны термической деформации и сколов вдоль линии резки соответствует существующим стандартам обычных технологий, а для плит малой толщины (до 40 мм) — существенно меньше.

Доклады АН СССР. 1986. Т. 286. № 5. С. 1125—1128.

Физика

Мощные компактные лазеры

Фирма «Спектра-Физикс» (Маунтен-Вью, Калифорния, США) разработала новый непрерывный аргоновый лазер с мощностью излучения 5 Вт. Специальная технология покрытия отражающих зеркал лазерного резонатора позволила поместить зеркала внутри разрядной трубки (возбуждение аргонового лазера осуществляется электрическим разрядом в атмосфере аргона, и обычные покрытия не выдерживают разрушающего действия плазмы разряда). В результате удалось на 50 % уменьшить размеры основного лазерного блока (лазерной головки), содержащего разрядную трубку и резонатор. Кроме того, на 20 % уменьшились размеры специально разработанного блока питания лазера. Такой многомодовый лазер с водяным охлаждением, дающий выходную мощность непрерывного излучения около 5 Вт, уже запущен в промышленное производство.

Новый тип сверхкомпактного импульсного CO_2 -лазера, использующего быстрый продольный проток газа, разработан и испытан фирмой «Джей-И-

Си-Лазерс» (Сэддлбрук, Нью-Джерси, США). Лазерная головка устройства имеет массу около 70 кг и длину менее 1 м, что позволяет монтировать ее в манипулятор промышленного робота. Измеренная в настоящее время мощность излучения составляет 3 кВт; в разработке находится модель тех же размеров с мощностью излучения до 5 кВт.

Laser Focus. 1986. Vol. 22. № 3. P. 10 (США).

Физика

Сверхкороткие звуковые импульсы

Слово «звук» со школьной скамьи ассоциируется с периодическими колебаниями среды — чередованием сжатий и растяжений. Но звуковой сигнал может иметь столь малую длительность, что окажется состоящим только из одного периода колебаний звуковой волны или даже из одной фазы сжатия; это так называемый однополярный импульс, по форме чем-то напоминающий солитон.

С появлением лазеров, излучающих ультракороткие импульсы света, возникла уникальная возможность генерации такого рода акустических импульсов. Так, А. Таму (А. Tam; лаборатория «Белл», США) удалось получить звуковые импульсы в жидкости длительностью 1 нс (10^{-9} с); они возникали при облучении лазерными импульсами малой длительности ($\tau = 0,5$ нс) черной металлической фольги, находящейся в контакте с жидкостью¹.

К. Л. Водопьянов, Л. А. Кулевский, В. Г. Михалевич и А. М. Родин (Институт общей физики АН СССР) существенно улучшили условия эксперимента Тама; в результате удалось получить прямую генерацию субнаносекундных звуковых им-

пульсов большой мощности в воде, глицерине и этаноле с помощью ультракоротких импульсов излучения лазера на гранате с эрбием длительностью 80 пс (1 пс = 10^{-12} с). Было учтено, что на используемой длине волны (2,94 мкм) максимально поглощение воды и других гидроксилсодержащих жидкостей с водородными связями; связано это с возбуждением валентных колебаний ОН-группы (частота около 3400 см^{-1}). При этом коэффициент поглощения света α данной длины волны экстремально большой и составляет для воды $1,3 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ (т. е. свет поглощается на длине меньше микрона). Поскольку минимальная длительность звуковых импульсов, которую можно получить, облучая лазером поглощающую среду, определяется временем, за которое звук пробегает глубину поглощения (α^{-1}), описанные условия особенно выгодны для получения звуковых импульсов малой длительности (0,5 нс).

Звук генерировался в слое воды, находящейся между двумя кварцевыми пластинками; практически вся падающая лазерная энергия поглощалась очень тонким (около 1 мкм) слоем жидкости, находящимся в непосредственной близости к поверхности кварца. Были получены однополярные импульсы звукового давления длительностью 0,75 нс и амплитудой 20 тыс. атм. О том, насколько велико это давление, говорит тот факт, что столь «несжимаемая» жидкость, как вода, сжимается в этих условиях на 30 %. КПД преобразования световой энергии в звуковую составил 6 %, а плотность мощности звуковой энергии — 185 МВт/см^2 . Звук столь малой длительности затухает в воде на расстоянии всего 100 мкм, а в кварце — 5 мм.

Короткие мощные импульсы давления, возбуждаемые в жидкости лазером, можно рассматривать как новый инструмент воздействия на вещество и изучения его свойств. Другая область их использования — гиперзвуковая интроскопия: можно, например, измерять толщину пленок меньше 1 мкм по разности времен прихода аку-

стических импульсов, отразившихся от верхней и нижней поверхностей пленки.

Журнал экспериментальной и теоретической физики. 1986. Т. 91. С. 114—121.

Физика

Аномальная ионизация кометного газа

Интернациональная группа ученых из СССР, ПНР и ЧССР в рамках проекта «Вега» впервые провела прямое исследование плазменных колебаний, возбуждаемых при явлении критической (или аномально быстрой) ионизации плазмы в окрестностях кометы Галлея.

Явление было предсказано Х. Альвеном более 30 лет назад; заключается оно в аномально быстрой (лавиннообразной) ионизации газа, через который движется поток плазмы со скоростью, превышающей некоторое критическое (альвеновское) значение. Позднее теория явления была подробно разработана советскими теоретиками; было показано, что часть кинетической энергии обрывающихся кометных ионов передается электронам при возбуждении низкочастотных плазменных колебаний. Ускоренные электроны, ударяясь о нейтральные атомы, ионизуют их, в результате может возникнуть самоподдерживающийся быстрый процесс ионизации нейтрального кометного газа. Доля энергии, передаваемой электронам, обычно оказывается невысокой, так что фактическое значение критической скорости может существенно превышать теоретическую (альвеновскую) величину.

При пролете «Веги-2» через внутренние области комы на расстоянии около 40 тыс. км от ядра кометы Галлея было зарегистрировано резкое возрастание плотности плазмы (эксперимент ПЛАЗМАГ); наблюдались также большие потоки ускоренных электронов с энергией до 1 кэВ. Все это указывает на аномальную ионизацию

¹ Tam A. C. // Appl. Phys. Lett. 1984. Vol. 45. P. 510—513.

плазмы в этой области кометной комы. Одно из наиболее характерных черт явления — сильное возрастание уровня флуктуаций электрического поля на частоте 15 Гц над обычным шумовым фоном, возникающим из-за столкновений аппарата с частичками пыли. Величина сигнала хорошо согласуется с оценками, полученными для этой величины из теории возбуждения неустойчивости пучком кометных ионов, вращающихся по циклотронной орбите в магнитном поле вблизи кометы. Критическая ионизационная скорость для молекул воды, оцененная по этим параметрам, составила примерно 20 км/с. Теория предсказывала, что процесс должен носить импульсный характер; эксперимент подтвердил это предположение.

Представление о критической ионизационной скорости в последние годы широко используется в самых различных астрофизических задачах — в теории образования планет, взаимодействия атмосферы спутника Юпитера Ио с его ионосферой, взаимодействия Титана с магнитосферой Сатурна и т. д. Однако до сих пор это представление не было подтверждено ничем, кроме теоретических расчетов и некоторых лабораторных экспериментов. В эксперименте «Вега» впервые получено прямое свидетельство того, что процесс действительно происходит в космической плазме.

Письма в *Астрономический журнал*. 1986. Т. 12. № 9. С. 665—674.

Физика

Почему столь велика диффузия электронов в токамаке!

Ответить на этот вопрос крайне важно для осуществления управляемой термоядерной реакции. Известно, что в плазме легко возбуждаются различного типа стохастические колебания. Взаимодействие электронов с такими колебаниями приводит к диффузии этих частиц, причем флуктуации электрического по-

ля вынуждают электроны дрейфовать в произвольных направлениях поперек силовых линий тороидального магнитного поля токамака. Наличие магнитных флуктуаций делает сами силовые линии магнитного поля не фиксированными, а как бы «блуждающими». Вопрос о том, какой из этих двух типов флуктуаций ответствен за наибольшие потери электронов в токамаках, окончательно не выяснен.

Японские исследователи С. Такамура, Н. Ониси, К. Иваи и Т. Окуда (S. Takamura, N. Onishi, K. Iwai, T. Okuda; Нагайский университет) поставили эксперимент, в котором впервые удалось измерить флуктуации магнитного поля внутри токамака. Внутрь плазменного разряда направлялся моноэнергетический пучок электронов диаметром несколько миллиметров. Энергия пучка была значительно выше энергии электронов плазмы, что позволило уверенно отличить электроны пучка от электронов исследуемой плазмы. Изучалось рассеяние пучка за счет взаимодействия электронов с обоими типами флуктуаций, причем плотность пучка выбиралась достаточно малой, так что он почти не вносил возмущений в плазму. Одновременно велось численное моделирование процесса рассеяния электронов; учитывалось как распределение магнитного поля в токамаке, так и редкие соударения частиц пучка с частицами плазмы. В результате многочисленных измерений при различных параметрах плазмы в токамаке исследователи пришли к выводу, что ни соударения, ни электростатические флуктуации не объясняют наблюдаемое рассеяние пучка. За него могут быть ответственны только магнитные флуктуации.

На основе экспериментальных данных авторы получили относительную величину флуктуаций радиального магнитного поля b_r , которая составила $b_r/B_t \approx 10^{-3}$, где B_t — тороидальное магнитное поле токамака. Это значение хорошо согласуется с теоретическими оценками величины магнитных флуктуаций.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 56. № 19. P. 2044—2048 (США).

Физика

Сверхпроводимость при 30 К!

Поиски новых сверхпроводников с высокой критической температурой (температурой перехода в сверхпроводящее состояние) — исключительно важная задача. В настоящее время максимальная критическая температура сверхпроводников составляет 23 К (в соединении Nb₃Ge) и для нормальной работы сверхпроводящих устройств необходимо использование дефицитного жидкого гелия. Колоссальным успехом было бы открытие сверхпроводников, способных устойчиво работать при температуре кипения жидкого водорода или, например, неона, получение которых не составляет особого труда. К сожалению, в последние десять лет не было достигнуто ощутимого прогресса в повышении критической температуры.

В этой связи весьма удивительными представляются результаты японских исследователей из университета Кагосимы по изучению пленок Nb—Ge—Al—O. По мнению авторов, в этих пленках наблюдается начало сверхпроводящего перехода при температуре 30—40 К. Пленки изготавливались путем вакуумного распыления Nb₃Ge на сапфировую подложку (Al₂O₃). Толщина пленок составляла 3500 Å. Во время отжига происходила взаимная диффузия компонентов системы. Вывод о появлении сверхпроводимости авторы делали по резкому (в 5—8 раз) падению сопротивления пленки и, главное, — появлению большой диамагнитной восприимчивости. Величина диамагнитного момента составляла несколько десятков процентов от идеального диамагнетизма сверхпроводников. Столь большой диамагнетизм служит важным указанием на наличие в пленке сверхпроводящих областей. Неоднородный характер сверхпроводимости пленки, по-видимому, ответствен за то, что ее сопротивление не падает до нуля.

Получаемая структура,

вероятно, очень неравновесная; на это, в частности, указывает сильный гистерезисный по температуре эффект: при нагреве пленки разрушение сверхпроводимости происходит при существенно более низком значении критической температуры. К тому же на разных пленках наблюдались сильно отличающиеся значения критической температуры, ширина перехода также заметно менялась от образца к образцу.

Пока трудно утверждать, какой механизм ответствен за столь необычное поведение исследовавшихся пленок, да и сами эксперименты нуждаются в тщательной проверке. Однако, несомненно, работа послужит импульсом к поискам новых перспективных сверхпроводящих материалов.

Applied Physics Letters. 1986. Vol. 48. № 17. P. 1167—1168 (США).

Техника

Циклотроны для производства медицинских радионуклидов

Сейчас в медицине применяется большое число радионуклидов. Например, для позитронной эмиссионной томографии необходимы различные короткоживущие позитронные «излучатели», такие как ^{11}C , ^{13}N , ^{15}O , ^{18}F (при их β -распаде и образуются позитроны). Периоды полураспада этих радионуклидов равны 20,4; 9,96; 122; 109,8 мин, соответственно. Другой важный радиоизотоп, получаемый на циклотроне, — ^{201}Tl ; он используется для получения изображений миокарда. Так как все эти радионуклиды распадаются довольно быстро, их необходимо производить непосредственно на месте клинических испытаний. Для этого требуются малые протонные циклотроны с энергией 8—12 МэВ, которые могут стать необходимой принадлежностью многих медицинских учреждений.

Короткоживущие радионуклиды, которые могут быть получены на циклотронах

Энергия протонов, необходимая для получения радионуклида	Радионуклид, период полураспада
15 МэВ	Излучатели позитронов: ^{11}C (20 мин), ^{13}N (10 мин), ^{15}O (2 мин), ^{18}F (110 мин), ^{38}K (8 мин), ^{51}Mn (46 мин), ^{73}Se (7,1 ч), ^{77}Br (58 ч)
	Излучатели фотонов: ^{67}Ga (78 ч), ^{111}In (2,8 дн), ^{123}I (13 ч), ^{201}Tl (73,5 ч)
15—30 МэВ	Излучатели позитронов: ^{30}P (2,5 мин), $^{34}\text{Cl}^m$ (32 мин), ^{52}Fe (13 ч), ^{55}Co (17,5 ч), ^{62}Zn (9,2 ч), ^{64}Cu (2,7 ч), ^{75}Br (1,6 ч), ^{81}Rb (4,7 ч), ^{81}Kr (13 с), ^{82}Rb (6,3 ч)
	Излучатели фотонов: ^{43}K (22 ч), ^{111}In (10 мин), ^{83}Rb (83 дн), ^{204}Bi (11,2 ч), ^{206}Bi (6,2 ч)
30—60 МэВ	Излучатели позитронов: ^{61}Cu (3,4 ч), ^{76}Br (161 ч), ^{77}Kr (75 мин), ^{122}I (3,5 мин)
	Излучатели фотонов: ^{38}S (2,9 ч), ^{99}Rh (4,7 ч)

Если будет доказано, что позитронная эмиссионная томография имеет преимущество перед методом ЯМР-томографии, то для медицинских центров США, например, потребуется более 100 малых циклотронов.

Nuclear Instruments and Methods of Physical Research. 1985. Vol. B10/11. P. 1111—1116 (США).

Физическая химия

Звук и окислы азота в воде

Известно, что под воздействием низкочастотных (до 200 Гц) звуковых колебаний в водных растворах могут протекать окислительно-восстанови-

тельные реакции, а также происходить стереоизомеризация малеиновой кислоты в фумаровую в присутствии брома¹ осуществляются эти реакции по кавитационному механизму. В кавитационных пузырьках вода или вещество с высоким парциальным давлением пара (например, бром) расщепляются на радикалы, часть которых рекомбинирует, а остальные взаимодействуют с растворенным веществом. Если частота звука доста-

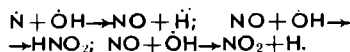
¹ Подробнее об этом см., напр.: Химическое действие низкочастотных звуковых колебаний // Природа. 1983. № 3. С. 110—111.

² Кавитация — комплекс явлений, возникающих в жидкости под воздействием звуковых колебаний и приводящих к образованию, росту и распаду в ней газовых пузырьков.

точно высока, может возникнуть еще один тип звукохимических реакций — газофазные, в которых участвуют растворенные в воде газы, находящиеся внутри кавитационных пузырьков (в процессе их пульсации и распада).

Среди них наиболее исследована реакция синтеза окислов азота в воде. Чтобы окислить газообразный азот, необходимо затратить энергию, значительно превышающую энергию расщепления молекул воды. Но, может быть, окислы азота будут образовываться в воде в условиях низкочастотных акустических колебаний, если возникает кавитация?

Эксперимент, подтверждающий такую возможность, провели М. А. Маргулис, Л. М. Грундель и И. А. Шнейдер (Всесоюзный научно-исследовательский институт органического синтеза). Через бидистиллированную воду пропустили звук интенсивностью до 4,5 Вт/см² и частотой от 7 до 180 Гц. Было обнаружено, что при низких звуковых частотах возникала кавитация и происходило окисление азота с образованием нитрит-ионов (NO₂⁻), концентрация которых линейно возрастала со временем. По мнению авторов, образование окислов азота в газовой фазе внутри кавитационных пузырьков непосредственно связано с возбуждением и диссоциацией молекул азота. Образующиеся атомы азота затем реагируют с OH-радикалами, возникающими внутри кавитационных пузырьков при расщеплении молекул воды, по следующей схеме:



Итак, при низких звуковых колебаниях возникают такие высокоэнергетические процессы, как диссоциация молекул воды (493,8 кДж/моль) и молекулярного азота (945,6 кДж/моль). Можно предположить, что в аналогичных условиях будут осуществляться и многие другие газофазные звукохимические реакции, для которых энергия образования первичных продуктов не превышает по крайней мере 950 кДж/моль.

Журнал физической химии. 1986. Т. 60. Вып. 2. С. 513—514.

Белок узнает метилированную ДНК

Результаты, полученные исследователями из Медицинской школы в г. Тула (США) под руководством М. Эрлиха (М. Ehrlich), позволяют лучше понять один из этапов в схеме внутриядерной саморегуляции функционирования аппарата наследственности. Известно, что регуляция происходит в результате взаимодействия определенных белков с определенными последовательностями нуклеотидов ДНК. Знаком такого взаимодействия может служить какое-либо изменение в структуре и характеристиках ДНК.

Примером такого изменения в последовательности ДНК является наличие метильной группы у цитозина в составе нуклеотидной пары цитозин—гуанин. Такая модификация рассматривается как возможный регулятор многих процессов, связанных с функционированием аппарата наследственности, в том числе репликации и транскрипции. Ряд параметров реакции метилирования выяснен, более того, выделен фермент, катализирующий эту реакцию — ДНК-метилтрансфераза. Остался ключевой вопрос: существует ли в клетке специфический белок, связывание которого с ДНК зависит от метилирования остатков цитозина?

Авторам удалось выделить из плаценты человека белок, который узнавал определенную нуклеотидную последовательность ДНК и связывался с ней только в том случае, когда эта последовательность содержала метилированные остатки цитозина хотя бы в одной из цепей. Авторы локализовали эту последовательность ДНК, определили ее размеры и первичную структуру.

Высокая специфичность связывания выделенного белка с метилированными последовательностями ДНК указывает на его участие в каком-то внутриядерном процессе. Дальнейшие исследования должны выяснить место этого процесса в об-

щей схеме регуляции наследственного аппарата, а такое знание предоставит возможность активно вмешиваться в процессы реализации генетической информации.

Nucleic Acids Research. 1986. Vol. 14. № 4. P. 1599—1614 (Великобритания).

Белок для биологических часов

Многие десятилетия биологи пытаются выяснить, как организмы разной степени сложности отсчитывают время, каким образом регулируются биологические ритмы. Для изучения молекулярных механизмов биологических часов Ф. Джексон и его сотрудники (F. R. Jackson; Нью-Йоркский университет, США) использовали методы молекулярного клонирования.

Объектом исследования стал генетический локус *per* плодовой мушки *Drosophila melanogaster*. Мутанты по этому гену обладают измененными суточными ритмами. Авторы определили расположение локуса на хромосоме X дрозофилы, охарактеризовали ген, контролирующий признак изменения ритмов, и выяснили его нуклеотидную последовательность. При изучении транскрипции этого гена были выявлены две промРНК (длиной 4600 и 900 нуклеотидов), которые кодируют полипептид необычного аминокислотного состава.

Из 1127 аминокислот, составляющих этот белок, почти половина представлена серином, треонином, глицином, аланином и пролином. Имеются длинные блоки (до 17 аминокислотных остатков), состоящие только из глицина и аланина. Кроме того, полипептидный продукт гена *per* содержит потенциальный участок фосфорилирования, распознаваемый особым ферментом (зависимой от цАМФ протеникиназой), а также участок гликозилирования.

Таким образом, продукт гена *per*, видимо, является про-

теогликаном. В настоящее время ведется работа по выяснению роли этого белка в контроле биологических ритмов у дрозофилы.

Nature. 1986. Vol. 320. № 6057. P. 108—110 (Великобритания).

Биохимия

Макрофаги распознают эритроциты

В последние годы возрос интерес к использованию эритроцитов в качестве переносчиков лекарств (эритроциты-контейнеры). Поскольку важна цельная доставка лекарства к определенным органам или тканям, надо так изменить эритроцит, чтобы его могли узнать и захватить макрофаги нужной ткани. Л. Макэвой, П. Уильямсон и Р. Шлегель (L. McEvoy, P. Williamson, R. A. Schlegel; Отделение молекулярной и клеточной биологии Университета штата Пенсильвания, США) показали, что эритроциты с симметричным распределением фосфолипидов в мембранах в 4 раза интенсивнее захватываются макрофагами, чем «асимметричные» эритроциты.

В мембране нормального эритроцита человека фосфолипиды асимметрично распределены по двум монослоям липидного двойного слоя: внешний монослой содержит больше нейтральных фосфолипидов, а внутренний — больше анионных. В результате липиды внешнего монослоя оказываются более плотно упакованными. При устранении же асимметричности увеличивается гидрофобность поверхности эритроцита, что облегчает фагоцитоз.

Авторы показали, что в зависимости от внешних условий в процессе загрузки эритроцита лекарством могут получаться как симметричные по монослоям, так и асимметричные

контейнеры. В опытах *in vitro* с эритроцитами человека, нагруженными бычьим альбумином, выявлен избирательный захват симметричных эритроцитов макрофагами (моноцитами). Управлять захватом эритроцитов-контейнеров можно, как считают авторы, и в организме, а не только в клеточной культуре. Это косвенно подтверждается тем, что в процессе естественного старения эритроцитов их внешний монослой обогащается анионными фосфолипидами из внутреннего монослоя (т. е. устраняется асимметричность), и старые эритроциты удаляются из крови макрофагами селезенки.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. P. 3311—3315 (США).

Биохимия

Древнейший половой гормон

Люлиберин — это гормон, который синтезируется в гипоталамусе и поступает оттуда в гипофиз, стимулируя выделение из гипофиза других гормонов, которые, в свою очередь, регулируют функционирование половых желез. Люлиберины животных разных видов очень близки по строению, что говорит об эволюционной консервативности этого нейропептида. Поэтому весьма интересны поиски родоначальника люлиберинов современных животных.

Н. Шервуд и С. Сауэр (N. M. Sherwood, S. A. Sower; университет штата Нью-Гэмпшир, США) изучили с этой целью одного из древнейших представителей позвоночных, не имеющего гипоталамо-гипофизарной системы — миногу (*Petromyzon marinus*). Исследователи приготовили ацетоновую экстракцию мозга миноги и радиоиммунным методом обнаружили в ней люлиберин. Люлиберин миноги оказался декапептидом с С-концевым амидом, а последний, как известно, является общим фрагментом всех люлиберинов. При сравнении

хроматографической подвижности пептида миноги с таковой у люлиберинов рога акулы, форели, лягушки и крысы отличий между ними не выявлено.

Авторы считают, что люлиберин миноги выполняет свои функции посредством диффузии через соединительную ткань. Итак, семейство люлиберинов пополнилось новым представителем, а вопрос о родоначальнике этого семейства так и остается открытым.

Neuropeptides. 1985. Vol. 6. № 3. P. 205—214 (США).

Генетика

Лазер в генной инженерии

Для молекулярной генетики большое значение имеет техника внедрения генетического материала в эукариотические клетки. Японские исследователи, возглавляемые С.-И. Куратой (S.-I. Kurata; Институт физико-химических исследований в г. Вакаяма) использовали лазерное перфорирование (прокалывание) клеток, чтобы облегчить встраивание в них чужеродной ДНК.

Клетки почки крысы выращивались в обычных лабораторных условиях, но не на пластиковой, а на кварцевой пластинке толщиной 0,1 мм. Это необходимо для того, чтобы луч лазера с длиной волны 335 нм мог беспрепятственно достигать клетки. В качестве донорской ДНК использовался ген одного из ферментов человека. Лазерный луч фокусировали на клетки, омываемые средой с донорской ДНК, а затем производили вспышку мощностью 1 мДж, которая создавала в клетке дырочку, видимую в световой микроскоп. В течение секунды клетка залечивает образовавшееся отверстие, но этого времени достаточно для проникновения донорской ДНК.

Через 100 часов инкубации в специальной среде облученные клетки породили множество колоний. Проверка

¹ См. в этом номере: Лекарство могут доставить эритроциты. С. 108.

устойчивости внедрения показала, что полной трансформации подвергаются далеко не все облученные клетки, и, по расчетам авторов, необратимая трансформация происходит у 0,01 % клеток. Впрочем, это значение достаточно велико, чтобы, после дополнительной автоматизации облучения клеточных ядер, новый метод мог стать удобным инструментом молекулярной генетики.

Experimental Cell Research. 1986. Vol. 162. P. 372—378 (США).

они могут вести себя подобно транспозонам, т. е. перемещающимся сегментам ДНК, которые способны встраиваться в различные части генома. Однако, некоторые из обнаруженных перемещений V-генов указывают на существование каких-то новых, пока еще неизученных механизмов.

Nature. 1986. Vol. 329. № 6000. P. 456—458 (Великобритания).

Иммунология

Вместе или порознь

Для того, чтобы специфический рецептор Т-лимфоцитов распознал антиген, тот должен располагаться на мембране клетки рядом с определенным белком из семейства главного комплекса гистосовместимости (ГКГ). До последнего времени было неясно, необходимо ли при этом тесное физическое сцепление антигена и белка ГКГ или же они распознаются порознь. Х. Макконнеллу (Н. М. McCoppell) и его сотрудникам из Станфордского университета (США) удалось показать, что антигенный рецептор Т-лимфоцитов действительно узнает сразу комплекс из антигена и белка ГКГ.

Исследователи включали в состав искусственных мембран антиген (17-членный пептид из яичного альбумина) и белок ГКГ. При добавлении к мембранам Т-лимфоцитов, они узнавали этот антиген. Затем антиген и белок ГКГ поместили легко различимыми флуоресцентными красителями: пептид — флуоресцеином, а белок ГКГ — тефлакским красным. При облучении используемых мембран аргоновым лазером краситель на пептиде возбуждался и передавал энергию красителю на белке ГКГ как акцептору. По-нятно, что такая передача энергии могла происходить лишь в том случае, когда красители (а следовательно и молекулы антигена и белка ГКГ) были на расстоянии, не превышающем 40 Å, друг от друга.

Когда мембрана с мечеными антигеном и белком ГКГ

подвергалась облучению в отсутствие Т-лимфоцитов, передача энергии от донорного красителя на антигене к акцепторному на белке ГКГ не происходила. Очевидно, что рецептор Т-лимфоцитов стабилизирует тесную связь антигена и белка ГКГ. Авторы заключают, что в ходе иммунного узнавания антиген и белок ГКГ должны тесно прилегать друг к другу и Т-клеточный рецептор распознает их одновременно.

Nature. 1986. Vol. 320. № 6058. P. 179—181 (Великобритания).

Генетика

Заблудившиеся гены

Фрагменты ДНК, кодирующие постоянную (С) и вариабельные (V) области легких х-цепей иммуноглобулинов человека располагаются на хромосоме 2. Известно, что С-ген один, а V-генов много, хотя сколько их точно, пока неизвестно¹. В ходе определения числа V-генов х-цепей человека исследователи из Мюнхенского университета (ФРГ) во главе с Х.-Г. Цахау (Н.-G. Zachau) неожиданно обнаружили V-гены не только на хромосоме 2, а и на других, в частности, на хромосомах 1, 15 и 22.

По приблизительным подсчетам авторов, около 10 % всех V-генов располагается не на 2-й, а на других хромосомах. Хотя «заблудившиеся» гены не обладают функциональными свойствами (с них не считывается информация для синтеза иммуноглобулинов), их все же необходимо учитывать при изучении всего комплекса генов, участвующих в кодировании пептидных цепей антител. Вероятно, они выполняют какую-то регуляторную роль.

Неясен механизм, благодаря которому V-гены попадают на разные хромосомы. Некоторые данные говорят о том, что

¹ Подробнее об этом см.: Сидорова Е. В. Гены иммуноглобулинов // Природа. 1982. № 11. С. 34—42.

Медицина

Лекарство могут доставить эритроциты

Повреждение внутренней выстилки кровеносного сосуда (эндотелия) с обнажением подлежащих тканей может служить причиной развития тромбоза и атеросклероза. Существенный вклад в медикаментозное лечение этих заболеваний вносит создание методов, позволяющих направлять лекарственные средства непосредственно к поврежденному участку сосуда. Препарат, или содержащий его контейнер, искусственно связывается с соединением (например, антителом или гормоном), способным специфически взаимодействовать с определенными участками органа или ткани.

В настоящее время представляется перспективным использовать в качестве контейнеров для лекарств красные клетки крови — эритроциты. Исследователи из Института экспериментальной кардиологии Всесоюзного кардиологического научного центра АМН СССР (Т. П. Самохин, М. Д. Смирнов, В. Р. Музыкантов) предположили, что если «нагрузить» эритроцит лекарством и присоединить к его поверхности антитело определенной специфичности, то такая система послужит эффективным средством доставки лекарства к органу-мишени.

Для проверки гипотезы к поверхности эритроцитов человека были присоединены анти-

тела к коллагену I типа, которые в норме не имеют прямого контакта с кровью и выделяются в просвет сосуда только при повреждении сосудистой стенки, вводя в действие механизмы образования тромбов. В экспериментальных системах различной сложности (использовались плоские искусственные поверхности, покрытые коллагеном I типа, а также перфузионные системы и фрагменты сосудов человека с поврежденными и неповрежденными участками субэндотелия) связанные с анти-телами эритроциты высоко избирательно взаимодействовали с коллагеном I типа. На поврежденных участках сосудистой стенки связывание происходило в 11 раз интенсивнее, чем на участках неповрежденного эндотелия.

Бюллетень ВКНЦ АМН СССР. 1986.
№ 1. С. 84—89.

Физиология

Обезболивание при стрессе

Психологи С. Келли и К. Фрэнклин (S. J. Kelly, K. B. J. Franklin; Монреальский университет, Канада) проверили широко известную гипотезу о том, что снижение болевой чувствительности (анальгезия) при стрессе происходит из-за усиления транспорта в мозг аминокислоты триптофана. Они сравнили действие триптофана с действием другой аминокислоты — валина, которая конкурирует с триптофаном за транспорт в мозг и, кроме того, препятствует анальгезии, вызываемой морфином.

О снижении болевой чувствительности судили по скорости реакции крыс на воздействие горячей водой. У животных в нормальном состоянии болевая чувствительность не изменялась, независимо от того, какую аминокислоту им вводили — валин, триптофан или тирозин. Если же в опыте использовали крыс в состоянии стресса, то самую низкую скорость реакции, а следовательно наиболь-

шую анальгезию, выказывали животные, получавшие триптофан.

Вместе с тем выяснилось, что крысы в состоянии стресса, получавшие либо валин, либо тирозин, обладали тем же уровнем болевой чувствительности, что и крысы, которым вводили опиатный антагонист налтрексон. Таким образом, анальгезия при стрессе действительно определяется усилением поступления в мозг триптофана, а способность налтрексона противодействовать этому эффекту говорит о вовлечении в этот процесс опиатных рецепторов.

Neuropharmacology. 1985. Vol. 24.
№ 11. P. 1019—1025 (США).

Психофизиология

Психофизиология младенцев

Известно, что развитие психофизиологических функций на первом году жизни протекает особенно быстро, поэтому до последнего времени считалось бессмысленным искать у детей этого возраста какие-либо устойчивые индивидуальные черты реактивности, темперамента, эмоционального мира и т. д. Принято думать, что они формируются не раньше второго года жизни. Эта позиция поколеблена двумя недавними исследованиями.

Группа психологов из Луисвилльского университета (США) под руководством А. П. Мэтени показала, что уже на 1—3-й день жизни у ребенка можно зафиксировать некоторые особенности, достаточно устойчивые в течение последующих 6 мес.¹ Регистрируя реакции новорожденных, исследователи выделили группу параметров поведения, которые характеризуют общую возбудимость и активность ребенка.

Факторный анализ показал, что характеристики активности и возбудимости отвечают более чем за половину всей совокупности реакций ребенка. Дети, получившие высокие оценки по этим параметрам, и полгода спустя характеризовались родителями как возбудимые, раздражительные, обидчивые, с трудом приспосабливающиеся к новым условиям. Подчеркнем, что речь идет о здоровых детях и что эти особенности поведения не связаны с показателями общего развития (доношенность, вес при рождении). Это значит, что уже в первые дни жизни могут быть выделены некоторые черты так называемого «трудного темперамента» детей; такие дети требуют в дальнейшем индивидуального подхода. Пока неизвестно, имеют ли эти черты темперамента генетическую природу или связаны с особенностями внутриутробного развития.

В другом исследовании, проведенном Н. Фоксом и С. Порджесом из Университета штата Мэриленд (США), сопоставлялись анатомо-физиологические характеристики младенцев в возрасте 40 недель от момента зачатия² с характеристиками их психомоторного развития спустя 2 мес. Группа обследованных включала как своевременно родившихся, так и недоношенных детей, как вполне здоровых, так и перенесших осложненные роды. В числе регистрировавшихся у новорожденных характеристик был тонус блуждающего нерва, который определяли по электрокардиограмме. Оказалось, что именно он наиболее тесно связан с последующим развитием, значительно превосходя в этом отношении такие показатели, как вес и рост при рождении, доношенность, степень кислородного голодания и число разного вида осложнений при родах. У детей с более высоким тонусом блуждающего нерва

² Напомним, что 40 недель — длительность нормальной беременности у человека, хотя возможно рождение здорового ребенка в более ранние сроки (36—34 недели и даже раньше).

¹ Matheny A. P. // Acta Genetica Medica et Gemellologica. 1985. Vol. 34. № 1. P. 15—31.

отмечалось и более успешное развитие познавательных функций; по мнению авторов, этот показатель у новорожденных может быть использован для прогноза психомоторного развития в первые недели жизни ребенка³. Ранее многократно отмечалось, что в возрасте 4—5 мес. и старше тонус блуждающего нерва тесно связан с процессами организации внимания, активного слежения за объектом⁴, однако значение подобной характеристики у новорожденных выявлено впервые.

Таким образом, показана возможность очень раннего обнаружения устойчивых характеристик и взаимосвязей в психофизиологическом развитии ребенка, позволяющих в какой-то мере прогнозировать особенности его дальнейшего развития, что может быть использовано для подбора индивидуальных воспитательных воздействий.

Б. И. Кочубей,

кандидат психологических наук
Москва

Психофизиология

Реакция на семантическую несовместимость

Еще в 70-е годы было установлено, что любое неожиданное изменение в ряду последовательных сигналов вызывает характерные изменения электрических потенциалов мозга, регистрируемых в ответ на сигналы. Однако эти данные были получены в экспериментах, где неожиданно менялись физические характеристики сигналов (интенсивность, длительность и т. п.). М. Кутас и С. Хиллард из Калифорнийского университета

(США) впервые обнаружили, что сигналы, неожиданные в силу своих семантических характеристик, тоже вызывают специфические изменения электрических потенциалов мозга¹. Испытуемым предъявлялся ряд слов, образующих законченную фразу; если последнее слово не соответствовало смыслу фразы в целом, возникала высокоамплитудная электронегативная волна со скрытым периодом около 0,4 с.

Недавно Дж. Полич (J. Polich; Университет штата Иллинойс, США) показал, что к появлению такой электронегативной волны ведут самые разнообразные процессы, включающие обработку семантически несовместимой информации. Он использовал в качестве стимульных рядов 80 различных последовательностей, в том числе: предложения с неожиданным концом (типа «он пил кофе с хлебом и гуталином»); ряды слов, последнее из которых относилось к другому семантическому классу; ряды букв, последняя из которых нарушала алфавитный порядок (например, А Б В Г Д Е У); последовательность чисел, логика которых могла нарушаться последним элементом, и др. Во всех случаях неожиданная концовка ряда приводила к появлению негативно-позитивного колебания, негативная часть которого соответствовала волне Кутас — Хилларда. Если же последний член ряда был логически и семантически совместим с предыдущими, но отличался от них по физическим характеристикам (например, по размеру), регистрировалась только позитивная волна со скрытым периодом 0,45—0,6 с.

Таким образом, механизмы мозга, отмечающие семантическую неадекватность событий, отличаются от механизмов, регистрирующих рассогласование по физическим характеристикам.

Bulletin of the Psychonomic Society.
1985. Vol. 23. No 5. P. 361—364
(США).

¹ Kutas M., Hillyard S.
// Biological Psychology.
1980. Vol. 11. No 1. P. 99—115.

Биология

Фармацевтические способности скворца

Скворцы известны своей чистоплотностью. Они регулярно чистят оперение, купаются в воде, даже стараются без необходимости не наступать в грязь. На первый взгляд кажется странным, что скворцы, как и многие другие птицы, часто поселяются в старых гнездовых ящиках. Это избавляет их от хлопот о жилище, но зато подвергает опасности заразиться различными болезнями: старое гнездо хранит множество инфекционных вирусов, бактерий, грибов, насекомых-паразитов.

Орнитологи заметили, что самцы скворцов ранней весной начинают приносить в скворечник молодые побеги различных растений и небольшими пучками вплетают их в стенки и основание гнезда. Л. Кларк (L. Clark; Центр химической измерений, Филадельфия, США) и Дж. Мейсон (J. R. Mason; Пенсильванский университет, США) исследовали гнездовое поведение скворца *Sturnus vulgaris* и, в частности, применение им растений. Оказалось, что из 84 видов травянистых растений, произрастающих в гнездовых биотопах этих скворцов, наиболее часто они используют лишь 9 видов; 34 вида встречаются в скворечниках в соответствии со степенью их распространенности вокруг, а 23 видов они стараются избегать. В лабораторных условиях исследователи совмещали листья и побеги этих растений с разнообразными болезнетворными агентами и установили, что предпочитаемые скворцами растения обладают антисептическими свойствами. Особенно эффективными оказались именно те 9 видов растений, которыми скворцы пользуются наиболее часто. Самым успешным было экспериментальное применение этих растений против трех видов бактерий: *Streptococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Pseudomonas aeruginosa*. Универсальным средством оказался один из видов репешков (*Agrimonia paraflorea*), подавляющий жизнедеятельность сразу двух видов па-

³ Fox W., Porges S. // Child development. 1985. Vol. 56. No 1. P. 28—37.

⁴ Graham F., Jackson J. Advances in child Development and behavior. N. Y., 1970. P. 60—119; Brawn R. W. et al. // Development Psychology. 1977. Vol. 10. No 3. P. 255—266.

тогенных бактерий и служащий хорошим общим дезинфицирующим средством. Выяснилось, что приносимые скворцами растения способствуют сокращению числа птичьих эктопаразитов, в частности резко уменьшают репродуктивный успех одного из видов птичьей ащи.

Излюбленные скорцами растения обильно выделяют различные летучие вещества. Анализ с помощью газовой хроматографии и масс-спектрометрии показал, что это главным образом моно- и сесквитерпены, обладающие хорошими дезинфицирующими свойствами. Золотарник морщинистый (*Solidago rugosa*), который скворцы используют особенно часто, содержит сразу два вида сесквитерпенов (2-борнилацетат и фарнезол). Эти компоненты действуют как гормоны, подавляющие линьку многих видов птичьих эктопаразитов.

Пока остается неясным, какими признаками руководствуются скворцы, подбирая растения для дезинфекции гнезда. Большинство специалистов склонны считать, что в многообразии растений они ориентируются благодаря способности улавливать тонкие химические различия между их летучими веществами. Этой точки зрения придерживается и Л. Кларк с Дж. Мейсоном. Использование скворцами видимых различий представляется им маловероятным.

Oecologia. 1985. Vol. 67. P. 169 (Западный Берлин); New Scientist. 1985. Vol. 108. P. 31 (Великобритания)

Биология

Третий тип рибосом

Известны два основных типа рибосом — клеточных органелл, синтезирующих белки. Это 80S-рибосомы у всех эукариот и 70S-рибосомы у прокариот. Характерный признак 80S-рибосом — наличие в их составе небольших РНК с коэффициентом седиментации 5,8S (5,8S РНК)¹.

Ч. Восебринк (C. R. Vocebrink) и К. Вуз (K. R. Voose) из

Отделения эволюционной генетики Университета штата Иллинойс (США) показали, что у этого правила есть исключение. Предметом их исследования стали рибосомы микроспоридии *Vairimorpha pascitrix*, паразитирующей на животных. Хотя по всем особенностям клеточной организации, клеточного цикла и т. п. *V. pascitrix* принадлежит к числу эукариот, рибосомы этого микроорганизма относятся к 70S типу и состоят из 50S и 30S субчастиц. РНК, выделенные из рибосомных субчастиц, имеют коэффициент седиментации 16S и 23S, что также свойственно прокариотам.

Неожиданно для исследователей, в составе рибосом из *V. pascitrix* не оказалось 5,8S РНК, являющейся обязательным компонентом эукариотических рибосом. Таким образом, *V. pascitrix* — это пока первые (а может быть и единственные) эукариотические организмы с прокариотическими рибосомами.

Nature. 1986. Vol. 320. No 6059. P. 287—290 (Великобритания).

Биология

Искусственные двойни у коров

У крупных млекопитающих в потомстве обычно бывает только один детеныш. Частота двоен у различных пород крупного рогатого скота колеблется от 0,44 % до 8,84 %. Эксперименты, проведенные Н. И. Сергеевым (Всесоюзный НИИ животноводства ВАСХНИЛ) имели целью определить возможность получения двоен путем трансплантации эмбрионов. Поскольку матка коровы имеет два рога (левый и правый), возможна пересадка либо

двух эмбрионов, либо одного эмбриона в свободный рог уже осемененной особи.

На 7-й день после осеменения коровам-реципиентам пересаживали нехирургическим путем 7-суточные эмбрионы, выращенные из материала, полученного при осеменении других особей. В зависимости от стадии развития пересаживаемого эмбриона доля прижившихся колебалась от 60 % до 17 %. В ходе опытов определены некоторые критерии отбора реципиентов, наиболее благоприятные периоды их полового цикла. В оптимальных условиях удалось добиться 75 % рождения двоен. Пересадка коровам чужих эмбрионов не оказывала влияния на развитие их собственных эмбрионов, полученных естественным осеменением.

Доклады ВАСХНИЛ. 1986. No 4. С. 26—28.

Зоология

Плюющийся паук

В. Нентвиг (W. Nentwig; Марбургский университет, ФРГ) изучал поведение тропического паука, принадлежащего к виду *Scytodes longipes*. Оказалось, что скитодес во время охоты нередко выплевывает в свою жертву липкий густок «слюны», которая приклеивает ее к паутине или другому подходящему для этого предмету. Такая «стрельба» производится почти без промаха с расстояния до 2 см.

Паук весьма осторожен в своих действиях. Он никогда не нападает на покрытых твердой оболочкой или опасных для него насекомых, таких как осы, пчелы, жуки, а также на муравьев, предпочитая тех, кто отличается мягкостью наружных тканей, например мотыльков и бабочек. Не гнушается скитодес и представителей других видов пауков, на которых нападает, даже когда они находятся в своей собственной ловчей сети. Очевидно, выбор жертвы определяется тем, сможет ли липкое выделение паука, обладающее к то-

¹ Коэффициент седиментации (осаждения) косвенно определяет молекулярный вес в зависимости от скорости осаждения белковых молекул в ультрацентрифуге. Измеряется в сведбергах и обозначается символом S.

му же токсичностью, проникнуть сквозь верхние покровы жертвы.

Oecologia. 1986. Vol. 65. P. 284
(Западный Берлин).



Охрана природы

В защиту мигрирующих видов

Мигрирующие виды животных особенно уязвимы при изменениях среды обитания. Между тем привычные для них пути перемещения часто нарушаются сведением лесов, прокладкой дорог и трубопроводов, осушением болот, распашкой степи. Они легко становятся жертвами браконьеров, контроль за действиями которых сложнее осуществлять вне одной государственной территории. Все эти моменты и были учтены инициаторами международной Боннской конвенции об охране мигрирующих видов, которая вступила в силу еще в 1983 г. В конце 1985 г. в Бонне состоялась конференция участников этой конвенции — представителей 63 стран и 40 национальных и международных организаций, в том числе таких влиятельных, как Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Международный совет по охране птиц и др.

Двухсторонние и трехсторонние соглашения о совместных мерах защиты животных, «не признающих» государственных границ, существовали и ранее. Такие акты заключали между собой Советский Союз и Индия; Советский Союз, Китай и Япония; Канада, США и Мексика; Австралия и Япония. При всей целесообразности этих мер, они носят ограниченный характер, в особенности, когда дело касается птиц, перелеты которых охватывают целые континенты. Поэтому Боннская конвенция оказалась чрезвычайно полезной для охраны природы в Западной Европе и на Среднем Востоке с их небольшими по площади государствами, а также в Афри-

ке — вообще там, где традиционные маршруты перелетных птиц пересекают государственные границы.

Конвенция утвердила список видов животных-мигрантов, нуждающихся в особой охране и требующих для этого международных соглашений. Под эгидой ЮНЕП в Бонне создан постоянно действующий секретариат, который собирает и распространяет экологическую информацию, организует образовательно-разъяснительную работу, осуществляет связь с прессой и т. д.

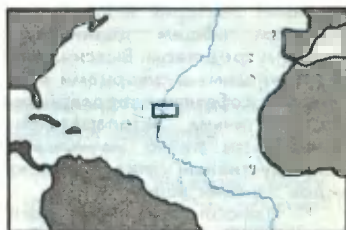
Ambio. 1985. Vol. XIV. № 6. P. 359
(Швеция).

Геология

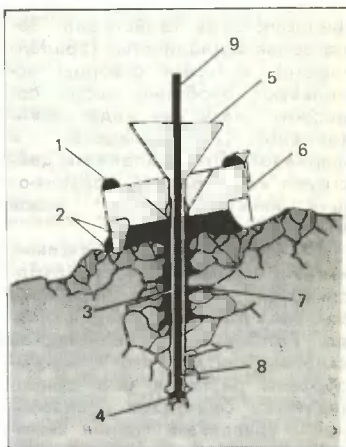
106-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Перед 106-м рейсом стояла в основном техническая задача — опробовать новую аппаратуру и технику бурения базальтов океанического ложа в условиях, когда осадочный слой на дне практически отсутствует (ранее для закрепления бурового инструмента в вертикальном положении требовалось наличие по крайней мере 50-сантиметрового осадочного слоя). В рейсе применено важное техническое новшество — донная направляющая конструкция (массой около 18 т), которая заливается цементом и обеспечивает тем самым прочную связь устья скважины с морским дном.

Новый способ бурения опробован в рифтовой долине Атлантического океана в области «современной» океанической коры (возраст не более 1 млн лет). Телевизионное обследование дна показало, что оно лишь «припорошено» осадочным материалом и во многих местах базальты на его поверхности обнажаются. В океанической коре по базальтам было пробурено 33,3 м (скважина 648), на борт судна поднято 6,2 м керн. Извлеченные породы ока-



Район бурения скважины в рифтовой долине Атлантического океана.



Новый способ бурения дна в условиях, когда отсутствует осадочный слой, способствующий удержанию бурового инструмента. 1 — акустические отражатели, 2 — цементная «подушка», 3 — первая скважина диаметром 41 см, 4 — буровой инструмент, 5 — конус для повторного вхождения в скважину бурового инструмента, 6 — направляющая конструкция, 7 — цемент, 8 — гидромонитор, 9 — буровая колонна.

зались плагиоклаз — оливинными базальтами — типичными представителями подушечных лав, характерных для срединно-океанических хребтов. Предполагается, что эта скважина будет углублена в последующих рейсах судна (начиная со 109-го). Ожидается, что полученный в результате долговременных работ разрез молодой коры океана позволит детально изучить процесс спрединга дна, в частности определить периодичность излияния базальтов в рифтовой долине.

В ходе исследования гидротермальной области в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта обнаружено поле гидротермальных источников («черных курильщиков»). На обследованной с помощью видеосистемы площади дна в 40 тыс. м² найдено около десятка «курильщиков», большей частью бездействующих. На этом участке (23°22' с. ш., 44°59' з. д.) с целью отбора образцов гидротермальных отложений, которыми сложены «курильщики», было пробурено 10 неглубоких скважин под общим номером 649. Скважины расположены на склоне одного из «курильщиков», по разрезу от его вершины к основанию. Пробуренные гидротермальные отложения оказались необычайно мощными — свыше 13 м у подножия и не менее 6 м на расстоянии до 17 м от самого источника гидротермальных излияний. Строение «курильщика» неоднородно: линзы сульфидных отложений железа и меди большой плотности сменяются в разрезе рыхлыми породами — сульфидами меди, цинка, железа.

В рифтовой зоне Атлантики «черные курильщики» достигают нескольких метров в диаметре и более 11 м в высоту. Они образуют столбчатые структуры, ранее детально обследованные на Восточно-Тихоокеанском поднятии и хребте Хуан-де-Фука.

Для области гидротермальных источников в Атлантике характерно, как показало телевизионное обследование дна, большое разнообразие биологических сообществ, заметно отличающееся от сообществ, которые наблюдаются в Тихом океане. Здесь, в Атлантике, нет возле гидротерм крупных беспозвоночных — моллюсков, прикрепленных червей (вестиментифер). Наиболее типичные формы жизни — это крупные плавающие ракообразные, мелкие креветкообразные и длинные (30—60 см) плоские змеевидные плавающие организмы (возможно, угри), которые, собственно, и дали название этой области — Снейк-Пит (Логово змей). Креветкообразные скапливаются на поверхности скальных выходов

у жерл гидротермальных источников, а прикрепленные мелкие организмы округлой формы (возможно, какая-то из форм актиний) усыпывают поверхность дна вокруг этих источников. В целом же в состав такого сообщества входят более мелкие и подвижные животные, чем найденные ранее у подводных гидротермальных источников Тихого океана.

JOIDES Journal. 1986. Vol. XII, № 1. P. 16—21 (США); Nature. 1986. Vol. 321. P. 14—15 (Великобритания).

Геохимия

Платина в железомарганцевых конкрециях

Платина и близкие к ней по химическим свойствам платиноиды (палладий, иридий, рутений, родий, осмий) относятся к числу наиболее редких и ценных металлов, что и вызывает повышенный к ним интерес. Но до последнего времени сведения об их поведении в океане, в частности в океанических рудах, отсутствовали в связи с аналитическими трудностями определения. Применение комплекса наиболее чувствительных и усовершенствованных методов позволило группе советских ученых, включая автора, исследовать эти металлы в самых распространенных рудных образованиях океана — железомарганцевых конкрециях, собранных в экспедициях научно-исследовательских судов Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР в различных районах Мирового океана.¹

Результаты химического, пробирно-спектрального, атомно-абсорбционного и нейтронно-активационного анализов показали, что конкреции, а также

аналогичные им по составу рудные корки содержат 5—750 мг/т платины, 0,2—20 мг/т палладия, 1—23 мг/т иридия, 1—20 мг/т рутения, 2—30 мг/т родия при средних содержаниях соответственно 160, 6, 7, 8 и 30 мг/т.

Содержание в конкрециях главных рудных элементов (медь, никель, кобальт) составляют обычно 5—15 кг/т, редких и рассеянных (скандий, гафний, тантал, редкие земли и др.) — от нескольких до сотен граммов на тонну. Следовательно, по своей распространенности в железомарганцевых рудах океана платиноиды стоят на последнем или одном из последних мест. Диапазон содержания платины и платиноидов в конкрециях всех океанов примерно одинаков, но наблюдается некоторая тенденция к увеличению содержания в них палладия в такой последовательности: Антарктический сектор (в среднем 3,1 мг/т), Индийский и Атлантический океаны (5 мг/т), Тихий океан (9 мг/т). Платина, содержание которой в конкрециях значительно выше по сравнению с другими металлами этой группы, обнаруживает нечеткую корреляцию в одних случаях с никелем, в других — с кобальтом и свинцом, что свидетельствует о ее более активном участии в рудном конкреционном процессе. По сравнению с глубоководными океаническими осадками, конкреции обогащены платиноидами в 15—40 раз больше, за исключением палладия, обогащающего конкреции всего в 2 раза. Эта палладиевая аномалия связана, видимо, с особенностями его поведения в водной толще — преимущественным осаждением в мелководных зонах океана, в то время как конкреции формируются в глубоководных.

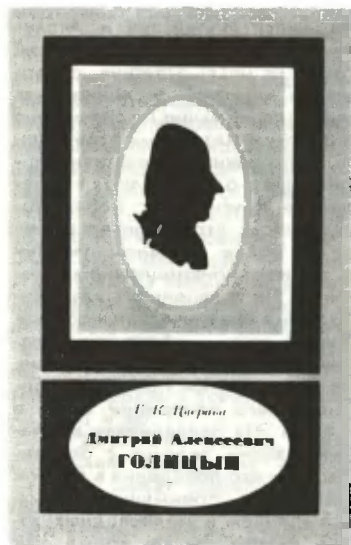
Выявленные закономерности геохимии платиноидов в океане позволяют предположить, что содержание в железомарганцевых конкрециях осмия, который пока не анализировался, составляет несколько миллиграммов на тонну.

Г. Н. Батури,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

¹ Батури Г. Н., Фишер Э. И., Курский А. Н., Пучкова Т. В. Металлы платиновой группы в глубоководных железомарганцевых конкрециях // Доклады АН СССР. 1985. Т. 285. № 4. С. 992—996.

Новое об ученом и государственном деятеле XVIII в.

Н. В. Перцов,
доктор химических наук
О. Р. Газизова
Москва



Г. К. Цварава. ДМИТРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ГОЛИЦЫН. 1734—1803. Отв. ред. Ю. И. Соловьев. Л.: Наука, сер. «Научно-биографическая литература». 1985. 184 с.

До последнего времени имя Дмитрия Алексеевича Голицына можно было считать почти забытым. Книга Г. К. Цварава как бы воскрешает в исторической памяти эту интереснейшую

личность, истинного сына века Просвещения, ученого и государственного деятеля, которому было «внятно все»: и социально-политические проблемы, и естествознание, и изящные искусства.

Профессиональный дипломат, Голицын с 1760 по 1767 г. был советником посольства, посланником и по сути культурным атташе во Франции; будучи в 1769—1782 гг. посланником в Нидерландах, он способствует установлению дипломатических отношений России с новообразованным заокеанским государством — САСШ (будущими США), только-только отстоявшим свою независимость от Англии.

Голицын обладал удивительной исторической интуицией: истинный патриот, он стал автором одного из первых проектов уничтожения крепостного права; передовыми по своим временам были и его идеи в зарождавшейся тогда политэкономии. Удалившись от службы, Голицын посвятил оставшиеся годы своему любимому делу — научным исследованиям — и навсегда поселился в Германии.

Тайный советник и камергер Голицын был почетным членом Петербургской Академии наук и Академии художеств, членом-директором Голландского общества наук, иностранным членом Брюссельской, Шведской, Берлинской академий наук, Лондонского королевского общества, членом «Леопольдины», президентом Минералогического общества в Йене. Таких научных почестей не удостоивался ни один русский ученый XVIII в.

Причин тому было несколько. Один из просвещен-

нейших людей своего времени, Голицын внимательно следил за европейской наукой, был лично знаком или состоял в переписке с Вольтером, Дидро и многими выдающимися учеными, которые относились с большим уважением к его знаниям и деятельности. Кроме этого, Голицын выполнял роль связующего звена между нарождавшейся русской наукой и европейской: он регулярно информировал своих соотечественников, и прежде всего Петербургскую Академию наук, о всех появляющихся новинках, отправляя в Россию приборы и их описания. Наконец, Голицын был незаурядным исследователем-экспериментатором. Созданные им на личные, довольно скудные, средства лаборатория, коллекция минералов и библиотека были одними из лучших по тем временам. Сам Голицын не сделал больших открытий, но его экспериментальные работы, например в области атмосферного электричества, были просто блестящими и по замыслу, и по исполнению. А его труды по вулканологии можно считать пионерскими.

Не следует забывать, что в России до Голицына его вельможные соотечественники считали научные «штудии» делом низким и недостойным, но он решительно нарушил это правило: исследуя природу электричества, сам ставил опыты и конструировал электрические машины, а также молниеотвод. Занятия химией легли в основу его серьезных минералогических исследований. Пожалуй, именно они более всего способствовали его всевропейской известности. Собирая минералы близ потухших вулканов, Голицын щедро делится своими наход-

ками. Образцы многих пород он отправляет в лаборатории европейских химиков.

Стоит вспомнить, что во времена Голицына минералогия как наука только начинала делать первые шаги, и русский естествоиспытатель был глубоко опечален хаосом произвольных классификаций. Исправляя этот недостаток, он издал 11 трудов по минералогии. Однако, хотя при жизни автора эти труды принесли ему международное признание, потом они были прочно забыты. «Трактат, или Сокращенное и методическое описание минералов» и «Сборник наименований» и по сей день воспринимаются как компетентный учебник и словарь по минералогии.

Особенно интересно узнать сегодня, что «Сборник наименований» Голицына, так и не переведенный на русский язык, оказал тем не менее значительное влияние на развитие науки в России: подробный и в свое время уникальный по значению словарь минералогических названий академика В. М. Севергина (1765—1826), более ста лет служивший настольной книгой русских минералогов, содержит обширные выдержки из «Сборника наименований» Голицына (хотя имя его и не упомянуто в этом обширном труде). Не случаен поэтому и тот факт, что именно Голицыну выпала честь стать директором первого в мире Минералогического общества, основанного в Йене. Знаменательно, что сменил его на этом посту И. В. Гете, по инициативе которого йенским музеем была приобретена «коллекция натуралей» Голицына.

Книга Г. К. Церавы о Голицыне — не только научная биография и комментарий к трудам несправедливо забытого русского ученого; в ней возникает нечто большее — духовный портрет человека, облик которого не потускнел под патиной времени, и образ века, запечатленный в образе недюжинной личности. И все же нет смысла далее пересказывать содержание книги, ее стоит прочесть. Но следует сказать несколько добрых слов об ее авторе.

Г. К. Церава по профессии инженер-электрик. Большую часть жизни прожил в боксито-

горске, что между Ленинградом и Вологдой. Научно-исторические изыскания — его страсть. Он по крупицам собрал о Голицыне огромный материал. Почти все, что сделал Голицын, — в немногих публикациях и в большом числе написанных на французском языке писем, которые рассеяны по архивам и библиотекам нашей страны и многих городов Европы. Собрать воедино весь этот разрозненный материал, осмыслить его и не просто создать биографию незаурядного естествоиспытателя, а открыть для отечественной историографии ученого, которым может гордиться наша страна — это чрезвычайно трудоемкая задача.

Можно пожалеть лишь о том, что автор не затронул еще одной стороны многогранной деятельности Голицына. В начале 60-х годов XVIII в. Екатерина II поручила Голицыну закупить в Европе произведения искусства для только что построенного Зимнего дворца. В значительной мере благодаря изысканиям и рекомендациям Голицына были куплены несколько частных коллекций и большое число отдельных произведений, так что к середине 70-х годов собрание, расположенное в апартаментах дворца, получивших название «Эрмитаж», насчитывало более 2 тыс. картин.

Заинтересованный читатель может обратиться за подробностями к недавно вышедшей книге: Левинсон-Лессинг В. С. История картинной галереи Эрмитажа (1764—1917). Л., 1985. О некоторых работах Голицына в области искусствоведения написано в книге: Евсин Н. А. Архитектурная теория в России во второй половине XVIII — начале XIX веков. М., 1985. Вместе с тем обширный материал, содержащий работы Голицына в области теории и истории искусства, находится в архивах и еще ждет своего исследователя.

Будем надеяться, что во втором издании книги Г. К. Церавы, необходимость в котором уже сейчас ощущается, появится глава о Д. А. Голицыне — искусствовед и основатель Эрмитажа.

Астрофизика для всех

Б. М. Болотовский,
доктор физико-математических наук
Москва



И. Новиков. ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ И ВСЕЛЕННАЯ. М.: Молодая гвардия, сер. «Эврика», 1985. 190 с.

Научно-популярная книга имеет много назначений. Одно из них, очень важное — дать читателю представление о той или иной области знания и побудить его к дальнейшему, более подробному ознакомлению с вопросом. Но хорошая научно-популярная книга, особенно адресованная молодежи, обязана претендовать на большее — она должна на своем материале выработать у читателя отношение к науке как к виду человеческой деятельности.

Этим требованиям вполне отвечает книга И. Д. Новикова «Черные дыры и Вселенная», в которой рассказано о достижениях современной астрофизики в изучении Вселенной.

Если говорить о пространственных размерах, на которых разыгрываются явления, изучаемые астрофизикой, то шкала этих размеров поразительно велика. Размер наблюдаемой области Вселенной по порядку величины выражается огромным числом: 10^{10} световых лет. Это расстояние, которое проходит световой сигнал за десять миллиардов лет. Таковы верхние пределы расстояний, с которыми имеют дело наблюдатели в астрофизике. В теоретическом анализе эволюции Вселенной возникают еще большие масштабы. Например, характерный масштаб неоднородности в современной Вселенной оценивается в 10^{33} световых лет!

А каковы минимальные расстояния, с которыми имеет дело астрофизика? Представление о самом малом расстоянии дает так называемая планковская длина — 10^{-33} см. Предполагается, что из вещества огромной плотности, заключенного в объеме с размерами такого порядка, возникла существующая Вселенная (в книге рассказывается о том, как это, возможно, происходило). Мы привыкли к тому, что самые большие расстояния встречаются в астрофизике, а самые малые — в физике элементарных частиц. Но экспериментальные данные позволяют пока проследить взаимодействие частиц на расстояниях, больших или равных по порядку величины 10^{-16} см. И мы видим, что планковская длина в сто миллионов миллиардов раз меньше, т. е. в астрофизике, а не в физике высоких энергий, обсуждаются явления, которые, возможно, имели место на самых малых расстояниях.

Самый малый и самый большой астрофизические размеры кажутся несопоставимыми по величине. Уж очень велик большой размер, а малый очень уж мал. Области физики, для

которых характерны эти величины, кажутся не связанными между собой. Однако (и об этом говорится в книге) свойства Вселенной в настоящее время определены особенностями поведения материи на малых расстояниях в той же мере, в какой и особенностями поведения тел в сильных полях тяготения на больших расстояниях.

Книга состоит из двух частей. В первой части рассказывается о черных дырах. Это тела, гравитационное поле которых вблизи поверхности настолько велико, что никакая информация о событиях «внутри» черной дыры, будучи не в состоянии преодолеть поле тяготения, не доходит до наблюдателя. На примере этих замечательных объектов читатель получает представление о теории тяготения Эйнштейна — общей теории относительности.

О черных дырах трудно было рассказать популярно, может быть, труднее, чем о других достижениях современной физики. В частности потому, что не только в повседневной жизни, но и в других областях науки мы не встречаем какого-либо аналога этим объектам. Они в самом деле являются своеобразными дырами в пространстве, на их границах замирает бег времени. И тем не менее для внешнего наблюдателя черные дыры проявляются как своеобразные тела, наделенные электромагнитными и термодинамическими свойствами. Вращающаяся черная дыра, помещенная в магнитное поле, может «работать» как динамомашина. В книге говорится о необычных законах новой небесной механики, которой подчиняются тела, движущиеся вокруг черных дыр, о том, как черные дыры могут, в принципе, служить источником энергии, и о том, как квантовые процессы, происходящие в сильнейшем поле тяготения черных дыр, ведут к их посте-

пенному «испарению». Наконец, особый интерес для читателя представляет сообщение о том, как астрономы находят «кандидатов» в черные дыры в далеких просторах Вселенной.

Во второй части книги речь идет о развитии Вселенной, о ее прошлом, настоящем и будущем. Уже давно доказано, что окружающая нас Вселенная расширяется, бурно эволюционирует. Развитие науки поставило перед астрофизиками новые вопросы: с чего началось расширение Вселенной? какие конкретно физические процессы происходили в первые минуты (!) после ее взрыва? как возникли небесные миры?

Вопросы эти необычайно интересны сами по себе, но, обсуждая их, автор не ограничивается изложением только существующего положения дел. Он показывает (и читатель об этом очень интересно) не застывшую астрофизику, а науку в ее развитии — возникновение и разработку новых идей, споры и обсуждения, подтверждения одних предположений и опровержение других, совместную работу астрофизиков из многих стран, драматическую историю открытий. В этом рассказе автор предстает как живой участник событий, он сам активно занимается многими проблемами, о которых говорится в книге, и читатель получает информацию «из первых рук». Возможно, что другие участники событий написали бы о том же несколько иначе. Но это вполне естественно. Науку делают живые люди, и далеко не во всех книгах о науке это обстоятельство отражено в достаточной мере.

Научно-популярные книги и брошюры И. Д. Новикова неоднократно отмечались на всеобщих конкурсах научно-популярной литературы и переводились на иностранные языки. Новая его книга написана с не меньшим популяризаторским мастерством.

Биология

М. С. Гиляров, Д. А. Криволуцкий. **ЖИЗНЬ В ПОЧВЕ.** М.: Молодая гвардия, 1985. 192 с. Ц. 50 к.

Становление почвенной зоологии как научного направления в Советском Союзе (да и в мировой науке в целом) связано с именем академика Меркурия Сергеевича Гилярова (1912—1985). Именно его работы, соединившие зоологию и почвоведение, и определили основной круг проблем, активно развиваемых в настоящее время. Однако несмотря на то, что в СССР был опубликован целый ряд научных сводок по различным аспектам почвенной зоологии, у нас не было ни одной учебной или научно-популярной книги, охватывающей почвенную зоологию в целом. Складывалась парадоксальная ситуация, когда для восполнения этого пробела приходилось обращаться к книгам зарубежных специалистов. Выход в серии «Эврика» научно-популярной книги М. С. Гилярова и Д. А. Криволуцкого «Жизнь в почве» следует рассматривать как удачное разрешение давно назревшей проблемы.

Книга состоит из 7 глав, из которых каждая посвящена важнейшим направлениям почвенной зоологии. Так, глава «Неведомая земля» вводит читателей в историю почвенной зоологии, «Химия и жизнь почвы» — в проблемы миграции химических элементов, «Мир, который у нас под ногами» — рассказ о животном населении почвенного покрова Земли, «Зоологический метод диагностики почв» и «Почвенные животные предупреждают об опасности» посвящены проблемам индикационной экологии, радиобиологии и биогеоценологии, а главы «Зоологическая мелиорация почв» и «Агроценозы сегодня и завтра» знакомят читателей с современными путями управления плодородием почв.

Вместе с тем специалисты знают, что М. С. Гиляров много времени и внимания уделял вопросам происхождения поч-

венной фауны различных регионов страны. И нельзя без сожаления констатировать, что этот материал, крайне важный для почвенной зоологии, остался за пределами книги. В остальном же книга удачна, хорошо продумана и написана, и это позволяет предположить, что ее ждет долгая жизнь.

А. В. Жулидов,
кандидат биологических наук
Ростов-на-Дону

Этнография

В. В. Евсюков. **МИФЫ О МИРОЗДАНИИ.** М.: Политиздат, сер. «Беседы о мире и человеке», 1986. 112 с. Ц. 15 к.

Новосибирский этнограф В. В. Евсюков рассказывает о древнейших космологических представлениях, сохранившихся в мифах разных народов. На протяжении многих тысячелетий наши предки представляли себе Вселенную в образе зверя. Логическим завершением одушевления природы стало уподобление Вселенной человеку. Это отразилось и в многочисленных мифах о сотворении мира из тела первочеловека-великана, и в образных соотношениях частей тела и свойств организма с различными космическими и природными явлениями (глаза — светила, волосы — растения, дыхание — ветер и т. п.).

Подобные взгляды прослеживаются практически у всех народов. Первобытные верования переходят в так называемые мировые религии: христианство, мусульманство, буддизм.

Автор на конкретном материале показывает зависимость космологических представлений от социальных. Так, появление родового строя привело к тому, что границы древних обществ переосмыслились религиозно-мифологическим сознанием в виде космического рубежа двух миров: «нашего» (земного) и потустороннего. Дальнейшее развитие представлений о загробном мире, в частности формирование концепции загробного воздаяния, также тесно связано с эволюцией социальной структуры.

Читатель узнает о структурном делении мифологического космоса, об особой роли «центра мира», который часто рисовался в виде мирового древа или мировой горы, о «магическом» значении различных цифр.

История науки

Ю. Г. Белокобыльский. **БРОНЗО-ВЫЙ И РАННИЙ ЖЕЛЕЗНЫЙ ВЕК ЮЖНОЙ СИБИРИ: ИСТОРИЯ ИДЕЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ.** XVIII — первая треть XX в. Новосибирск: Наука, 1986. 168 с. Ц. 1 р. 80 к.

Книга посвящена истории изучения Южной Сибири, прежде всего — Хакасско-Минусинской котловины, которая традиционно является районом интенсивных археологических поисков. Хронологически автор выделяет четыре крупных этапа: XVIII в.; первая половина XIX в.; вторая половина XIX — начало XX в.; двадцатые годы XX в. Первый этап связан с деятельностью экспедиций Д. Г. Мессершмидта, Г. Ф. Миллера и П. С. Палласа. Именно под руководством Мессершмидта в 1772 г. были проведены первые в Сибири (и в России!) археологические раскопки. На втором этапе продолжался сбор материала (экспедиция М. А. Кастрена, работы Г. И. Спасского), для интерпретации которого применялся комплексный подход, сочетавший достижения археологии с лингвистикой, этнографией, естествознанием. На третьем этапе, в связи с общим подъемом культурной жизни Сибири, происходит массовое накопление и обработка вещественных источников, археология как наука обретает свой собственный предмет исследования. Завершают выделенный двухвековой период типологические и хронологические классификации, созданные С. А. Теплоуховым и сохранившие свое значение до наших дней.

В заключение автор подчеркивает преемственность русской и советской археологических школ.

Тематический указатель журнала «Природа» 1986 года

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ НАУКИ

Важная миссия науки	2	3
Возвращенное очарование мира. Пригожин И., Стенгерс И.	2	86
Дополнительные страницы к биографии Г. В. Рихмана. (К 275-летию со дня рождения.) Цверева Г. К.	7	52
Заметки по поводу юбилея. Гинзбург В. Л.	10	80
Золотые медали им. М. В. Ломоносова АН СССР за 1985 г.		
М. А. Садовский, Жарков В. Н., Нерсесов И. Л.	9	114
Г. Аро. Ефремов Ю. Н.	9	115
Из переписки А. А. Любищева и П. Г. Светлова. 1936—1969	8	90
Интегративные функции физико-химической биологии. Шапин А. Н.	12	3
Истоки и судьба «закона Ломоносова». Овчинников Н. Ф.	9	99
Итоги читательской анкеты**	8	104
Лауреаты Нобелевской премии 1985 года		
По физике — К. фон Клитцинг. Долгополов В. Т.	1	94
По химии — Дж. Карл и Г. А. Хауптман. Тищенко Г. Н., Симонов В. И.	1	96
По медицине — М. Браун и Дж. Голдштейн. Преображенский С. Н.	1	100
Медали Дирака — Я. Б. Зельдовичу и Э. Виттену*	3	102
Научно-технический прогресс: социальные проблемы и альтернативы. Фролов И. Т.	1	3
Наш первый университет. Логунов А. А.	9	16
Познание творчества. Батищев Г. С.	6	50
Природа и идеализованный объект. Гайдено П. П.	11	84
Природа научного факта. Черняк В. С.	3	83
Сергей Николаевич Виноградский. (К 100-летию открытия хемосинтеза.) Заварзин Г. А.	2	71
Создатель эволюционной гистологии. (К 100-летию со дня рождения А. А. Заварзина)		
Принципы параллелизма в эволюции тканей. Хрущов Н. Г., Харазова А. Д.	4	54

* Опубликовано в разделе «Новости науки».

** Опубликовано в разделе «Диалог с читателем».

Глазами современников. Астахов О. О.	4	61
Слово о Ломоносове. Жданов Ю. А.	9	4
Феномен Шкловского. Кардашев Н. С., Марочник Л. С.	6	84
Хаома — священное растение древних иранцев. Хлопин И. Н.	11	40
«Храм наук» и «Книга природы». Гаврюшин Н. К.	9	82
Что такое социобиология? Никольский С. А.	4	90

АСТРОНОМИЯ. АСТРОФИЗИКА. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Активные галактики — объекты ИРАС*	2	101
Быстрый пульсар в Лебеде X-3*.		
Догель В. А.	6	107
В голове кометы — лед*	4	104
Внегалактическое торнадо*	1	103
Внегалактический источник γ -квантов сверхвысоких энергий*	1	102
«Вояджер-2» знакомит с системой Урана. Бурба Г. А.	12	62
Вселенная в разрезе*	12	98
Встреча с кометой состоялась*	3	102
Второе кольцо Юпитера*	4	100
Галактика, рождающаяся «на глазах»*	4	102
Гамма-источник — радиопульсар?*	4	101
Геология Венеры. Барсуков В. Л., Базилевский А. Т.	6	24
Гигантские молекулярные облака в Галактике*	2	100
«Горячая» модель формирования галактик*	8	109
Две стадии вспышки сверхновой звезды*	7	105
Десятая планета Солнечной системы?*	5	107
Еще одна загадка γ -всплесков*	7	106
Завершена экспедиция на «Салют-7»*. Никитин С. А.	3	99
Запуск космических аппаратов в СССР*		
сентябрь — октябрь 1985 г.	2	98
ноябрь — декабрь 1985 г.	4	99
январь — февраль 1986 г.	6	106
март — апрель 1986 г.	8	107
май — июнь 1986 г.	10	102
июль — август 1986 г.	12	96
«Звездные войны» и возможность несанкционированного ядерного конфликта. Раушенбах Б. В.	11	3
Изучается хвост кометы*	5	104
Изучение полярных областей Солнца*	8	109

Ионные фонтаны в полярных каспах.*		
Зеленый Л. М.	10	103
К чему приводит столкновение галактик*	12	100
Как возникли метеориты?*	5	107
Космическая экспедиция «Вега»: встреча с кометой Галлея. Балебанов В. М., Мороз В. И.	5	3
Космический масс-спектрометр*	3	99
225 лет исследований атмосферы Венеры. Барсуков В. Л., Волков В. П.	9	73
Международные исследования ионосферы*	7	104
Механизм образования кометных лучей*	10	104
Механизм отрыва кометных хвостов.*		
Зеленый Л. М.	12	97
Необычное излучение Лебедя X-3*	3	101
Новый класс рентгеновских источников*	1	102
Новый метод измерения постоянной Хаббла*	8	110
Оптическая переменность ядра галактики M 33*	7	106
Орбитальная станция «Мир».* Никитин С. А.	6	106
Особенности вращения Земли. Пильник Г. П.	11	20
Падение метеоритов на людей и здания*	10	105
«Планета А»*	2	99
Поиски далеких квазаров*	12	98
Половина пути пройдена.* Максумов М. Н., Добровольский О. В.	5	106
Природа астероида Аполлон*	3	102
Проблема милитаризации космического пространства: технические предпосылки и последствия. Раушенбах Б. В.	2	8
Проект крупнейшего оптического телескопа*	11	100
Пролет «Джотто» через комету Галлея*	7	104
Пятый пульсар в составе двойной системы*	2	100
R 136 — сверхмассивная звезда?*		
Сурдин В. Г.	4	103
Работа метеоспутника восстановлена*	5	104
Радиоастрономия — наукам о Земле*	2	101
Радиолокация тропических циклонов*	9	116
Разыскивается планета. Токовини А. А.	3	39
Самая далекая галактика*. Шандарин С. Ф.	3	101
Сверхжесткое излучение от рентгеновских пульсаров*	5	105
«Сверхсветовой» радиоисточник*	5	105
Семь астероидов названы в память астронавтов*	11	100
Сколько звезд на небе? Хлопов М. Ю.	9	116
Скрытая масса и гравитационные линзы*	12	99
«Союз Т-14»*. Никитин С. А.	1	101
«Союз Т-15»*. Никитин С. А.	8	107
Спутники «Спот-1» и «Викинг»*	8	108
Странное кольцо Нептуна*	6	108
Существуют ли закономерности в распределении квазаров?*	4	100
Трансполарные дуги*	12	96
Уран выглядит иначе*	6	108
Часто ли астеронды сталкиваются с планетами?*	1	104
Что находится в центре Галактики?*	3	99
Экспедиция на двух орбитальных станциях*. Никитин С. А.	10	102
Экспедиция на двух орбитальных станциях завершена*. Никитин С. А.	11	99
Экспедиция на «Салюте-7» (сентябрь — октябрь 1985 г.)* Никитин С. А.	2	98
Электродинамика черных дыр. Новиков И. Д.	7	59

ФИЗИКА. ТЕХНИКА

Акустотермография*	5	109
Аномальная ионизация кометного газа*	12	103
Блуждающие или локализованные?*	6	109
Большое Красное Пятно Юпитера и его экспериментальное моделирование. Незлин М. В.	10	23
Возбуждение активной среды лазера*	8	111
Волоконный термооптический коммутатор света*	3	104
Генерация космических лучей в межпланетном пространстве. Тверской Б. А.	1	11
Глобальные электромагнитные резонансы. Блюх П. В., Николаенко А. П.	4	3
Дистанционное измерение ветра*	6	110
Звук распространяется по следу светового луча*	11	101
«Извлечь вещи из темноты». Мирошников М. М.	9	26
Изменяется ли гравитационная постоянная? Милоков В. К.	6	96
Импульсные ультрафиолетовые лазеры для фотолитографии*	8	111
Как научить машину «видеть», или Антропоморфная обработка изображений. Гинзбург В. М.	6	14
Как увидеть монополю. Курик М. В., Лаурентович О. Д.	12	55
Компьютеры и СОИ*	11	103
Конец среднего гринвичского времени*	12	69
Конкуренция между синхротронами и рентгеновскими трубками*. Пушаровский Д. Ю.	1	105
Крупногабаритные зеркала из пористых материалов*	10	107
Лазерная технология обработки мрамора*	12	102
Лазерное усиление рентгеновского излучения*	1	106
Магнитное поле разрушает и... восстанавливает сверхпроводимость*	1	104
Мэзер на одном атоме*. Масалов А. В.	5	108
Масса кварков**	2	96
Механические сплавы магния — для водородной энергетики*	11	102
Мощные компактные лазеры*	12	102
Мощный квазинепрерывный лазер в видимой области спектра*	1	105
Не Архимед, а Паскаль.** Соколов А. А.	7	101
«Небесный крик» — детектор гравитационных волн*. Полнарв А. Г.	6	108
Нелинейная акустика: достижения, перспективы, проблемы. Руденко О. В.	7	16
Необычные «путешественники» — включения в кристаллах. Гегузин Я. Е.	12	11
Новые распады «очарованных» и «прелестных» частиц. Данилов М. В.	5	30
Новый вид спектроскопии твердых тел*	5	108
Облучение напряженных металлов. Кирсанов В. В., Трушин Ю. В.	11	69
Оптический метод определения возраста осадочных пород*	2	103
Органические сверхпроводники. Булаевский Л. Н., Щеголев И. Ф.	5	50
Парадоксы теплопроводности в полупроводниках. Гуревич Ю. Г.	3	66
Повышение коэффициента усиления лазерного усилителя*	7	108
Подтверждено существование квантовых аномалий*	7	107
Полет в природе и технике: соревнование? ученичество? Борин А. А.	6	68
Поляризованные нейтроны и исследование свойств вещества. Малеев С. В., Окорочков А. И.	10	46

Почему столь велика диффузия электронов в токамаке?*	12	104
Применение лазерного излучения для резки заготовок*	3	105
Прямое наблюдение распадов «пре-лестных» мезонов*	3	103
Радиолокационные исследования Мирового океана. Басс Ф. Г., Калмыков А. И., Шестопалов В. П.	5	78
Резонанс в осцилляциях нейтрино*	10	106
Релятивистские струны: от мыльных пленок к объединению фундаментальных взаимодействий. Нестеренко В. В.	11	12
Сверхкороткие звуковые импульсы*	12	103
Сверхпроводимость в сверхрешетке золота и германия*	3	103
Сверхпроводимость и магнетизм соединений с тяжелыми фермионами*	8	111
Сверхпроводимость, индуцированная магнитным полем*	2	102
Сверхпроводимость при 30 К?*	12	104
Сверхрешетка Фибоначчи*	4	104
Световоды «вдвухаются» в кабель*	10	107
«Сжатое» состояние света*	7	108
Спиновое стекло как модель мозга*. Мазин И. И., Фейгельман М. В.	2	103
Суперсимметрия в атомной физике?*	9	118
Термодинамика в дистанционном зондировании. Балтер Б. М., Егоров В. В.	8	33
«Тяжелые» электроны в магнитоупорядоченном материале*	11	102
Уроки Чернобыля.* Феоктистов Л. П.	9	123
Ферромагнетизм, вызванный изменением концентрации носителей*	8	110
Физические эксперименты с одним электроном*	4	105
Фотонные мишени. Ландсберг Л. Г.	4	72
Химическая модель шаровой молнии*	4	105
Циклотроны для производства медицинских радионуклидов*	12	105
Часы для спутниковой навигации*	2	104
Эксперимент «Памир». Жданов Г. Б., Максименко В. М., Славатинский С. А.	8	70
Экспериментальная проверка специальной теории относительности*	12	101
Экспериментальные исследования т-нейтрино**	3	98
Электролиз в металлах. Фикс В. Б., Каганов М. И.	7	88

ИНФОРМАТИКА. МАТЕМАТИКА

Архитектура будущих ЭВМ. Канторович Л. В., Фет Я. И.	7	3
В поисках нечетного совершенного числа*	9	117
Информатика: новая страница в исследовании Мирового океана. Перчук В. Л.	1	29
Компьютер в исследовании и сочинении музыки. Зарипов Р. Х.	8	59
Пейзажи. Перспектива и зрительное восприятие. Раушенбах Б. В.	3	76
ЭВМ как средство представления знаний. Шрейдер Ю. А.	10	14

ХИМИЯ

Звук и окислы азота в воде*	12	105
О природе стекла. Шульц М. М.	9	41
Радиационно-химическая очистка сточных вод*	4	106

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

Акселерация у птиц*. Суворов А. А.	2	110
Аминокислоты и иммунитет*	7	112
Бактерии, питающиеся пестицидами*	8	115
Бокоплав прикидывается икринкой*. Несис К. Н.	4	112
«Бранные» взаимоотношения лесных завирушек*	6	116
Вместе или порознь*	12	108
Выгодно ли кальмарам быть глухими? Несис К. Н.	3	95
Галантамин из листьев нарцисса*	1	113
Где ты, доктор Айболит?*	6	115
Гетерозиготность и партеногенез*	2	105
Гнезда птиц на вулканических термальных полях*. Лобков Е. Г.	8	116
Гомеобокс регулирует пространственную упорядоченность развития*	3	107
Гормоны вызывают только ограниченное число мутаций*	1	106
Дефект иммунитета устраняется введением гена*	3	109
Диплоидно-триплоидная мозаичность органов у черепах*	3	107
Древнейшие омары. Буруковский Р. Н., Сиренко Б. И.	12	93
Дрожжи-убийцы*. Наумов Г. И.	6	114
Дюгони не исчезли!*	9	120
Еще одна роль феромонов*	7	113
Жизнеспособные микробы из вечной мерзлоты*	1	109
Заблудившиеся гены*	12	108
Загадка морской змеи*	8	117
Иммунизация картофеля*	4	111
К механизму полета насекомых*. Карцев В. М.	9	119
Как строят гнезда муравьи-ткачи*. Кипятков В. Е.	7	114
Как охлаждаются пчелы*	2	112
Каучуконосное растение на грани исчезновения. Коровина О. Н., Вахрушева Т. Е.	11	95
Кожа и происхождение человека. Маленков А. Г., Ковалев И. Е.	6	76
Кормятся птицы. Резанов А. Г.	6	44
Крабы, которые дышат ногами*	8	115
Лагуны дальневосточных морей. Кафанов А. И.	5	34
Насекомые в природе и в лаборатории*. Карцев В. М.	11	108
Необычные вкусы колорадского жука. Кулик Л. В., Тимошин А. А.	10	98
Непоседливые наutilusы*. Несис К. Н.	11	109
Ориентация плывущего сверчка*	10	113
Островные яблоки Приморья. Пономаренко В. В.	3	92
Осьминоги способны размножаться неоднократно*. Несис К. Н.	2	111
Отцы и близнецы. Голубовский М. Д.	3	23
Первые шаги в изучении белухи. Огнетов Г. Н., Минибаяев О. Н.	1	67
«Плодовитые» мулы*. Максудов Г. Ю.	4	111
Плюющий паук*	12	111
Повышенная смертность детенышей-самцов*	3	110
Почему выжил колючий латук?*	7	115
Примитивные прямокрылые*	1	112
Редкое скопление муравейников. Тимченко Л. И.	11	93
Родина врановых — Австралия*	2	111
Роль звука в движении рыб. Романенко Е. В.	11	28
Рыба в роли сторожевой собаки*	4	112
Рыбы и стресс*	7	114
«Свое» или «чужое»? Молекулярные		

основы биологического распознавания.		
Кульберг А. Я.	6	60
Серый журавль зимует в Ставрополье*.		
Хохлов А. Н.	10	114
Скорость эволюции растений*	2	113
Способности енота*	7	114
Способность растений поглощать углекислый газ через корни*	4	113
Старость с точки зрения эволюциониста. Малиновский А. А.	8	81
Сычуаньская соня — новый род млекопитающих. Воронцов Н. Н.	3	94
Тип поведения крыс и их плодовитость*	7	113
Уникальный муравей — пастух и кочевник*. Княтков В. Е.	3	111
Флорогенез и эволюция растений. Мейен С. В.	11	47
Фотосинтез при очень малой освещенности*	2	113
«Чужое» становится «своим»*	11	105
Эволюция варибельности антител*	11	104
Эволюция генов растений: вызов теории «молекулярных часов». Антонов А. С.	7	68
Яйцеклетки коров развиваются в яйцеводах крольчих*	6	115

Мутации генов иммуноглобулинов*	3	109
На пути к безвирусному растениеводству. (Интервью с И. Г. Атабековым)	8	3
Незначущая РНК и регуляция генов*	6	112
Необычное формирование гена*	10	111
Новые белки из иммуноглобулинового суперсемейства*	1	108
Новый способ создания антибиотиков*	1	110
Новый метод растворения тромбов*	6	111
Обратная трансформация раковых клеток специфическими антителами*	3	106
Онкобелок вызывает дифференцировку клеток*	8	112
Поиск возбудителя скрепи*	3	106
Промышленность обратилась к биосенсорам*	11	103
Родственники или соседи?*	7	110
Рыбы — объекты генной инженерии*	7	111
Синтез фактора свертываемости с помощью рекомбинантной ДНК*	2	107
Способ «упаковки» ДНК в ядре*	7	109
Структура комплекса антиген-антигена*	6	112
Тепловой шок и экспрессия генов*	11	104
Транслокация и рак*	3	107
Третий тип рибосом*	12	111
Фагоциты и канцерогенез*	9	118

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Активация Т-лимфоцитов*	2	106
Активность генов иммуноглобулинов*	3	106
Аллергия на молекулярном уровне. Незлин Р. С.	11	75
Белок для биологических часов*	12	106
Белок, подавляющий иммунный ответ*	6	113
Белок, стимулирующий рост кровеносных сосудов*	4	107
Белок узнает метилированную ДНК*	12	106
Вирус-контрабандист*	7	110
Генная инженерия на службе здравоохранения. Свердлов Е. Д.	10	3
Гены, определяющие антигенную специфичность*	11	105
Гибридомы «кролик — мышь»*	2	106
Двойная жизнь антикодона. Киселев Л. Л.	12	88
Изучение механизма метастазирования*	2	108
Изучение неспецифических иммуноглобулинов*	5	112
Иммунотоксины против рака*	4	108
Исследуется механизм иммунного распознавания*	7	112
К механизму процесса оплодотворения*	4	107
Как белки движутся через клетку*	6	111
Как выключить синтез специфического белка в клетке?*	4	108
Как работают клетки-убийцы*	8	113
Как Т-лимфоциты узнают антигены*	4	109
Как установить специфичность моноклональных антител*	2	106
Клонирован ген фактора некроза опухолей*	5	110
Клонирована ДНК из мумии*	1	108
Лазер в генной инженерии*	12	107
Локализация антигенных детерминант*	2	104
Мембранный белок нервных и лимфоидных клеток*	5	110
Механизм включения онкогена*	10	108

БИОХИМИЯ. БИОФИЗИКА

Антагонисты опиоидных соединений в мозге*	5	111
Антиокислитель замедляет старение*	6	111
«Веселящий газ» влияет на опиоидные пептиды мозга*	2	108
Влияние дубнола на эндокринную систему*	4	109
Выделен гемсодержащий белок*	1	109
Галогенорганические соединения морских водорослей*. Несис К. Н.	5	113
Диагностика опухолей по свечению*	10	108
Древнейший половой гормон*	12	107
Как активируется пепсин*	9	119
Каталитические свойства РНК*	10	109
Курение повреждает ДНК плаценты*	8	112
Макрофаги распознают эритроциты*	12	107
Механизм действия канцерогенов*	10	110
Механизм действия нитроглицерина*	1	108
Могут ли споры выжить в межзвездном пространстве?*	4	107
Молекулярный механизм действия пчелиного яда*	2	107
Неканонические структуры в сверхспиральной ДНК. Лазуркин Ю. С.	2	16
Новые варианты «-антитрипсина»*	7	111
Норадреналин против стресса. Ротенберг В. С.	1	86
Опиоидный пептид ускоряет регенерацию*	5	111
Пластмасса из сахара*	1	109
Подавление опухолей у растений*	5	111
Прижизненное окрашивание нервных клеток*	4	108
Простагландины. Варфоломеев С. Д.	5	18
Секрет обрестания судов полезен дантистам*	11	108
Средство, предотвращающее образование тромбов*	3	108
Структура самых сладких веществ*	2	107
Тепловизор «видит» мозг*	5	110
Терапия подражает жизни*	11	107

Термо- и фоточувствительность опухлевых клеток*	6	110
Трение в суставах и холестерин*	3	105
Фармацевтические способности скворца*	12	110
Ферменты атакуют целлюлозу. Синицын А. П.	6	3
Фторуглероды влияют на ферменты печени*	7	111
Хлорпромазин подавляет функцию костной ткани*	3	108

ФИЗИОЛОГИЯ. ПСИХОЛОГИЯ. МЕДИЦИНА

Борьба с синегнойной палочкой*	3	109
Вакцина против опухолей*	8	113
Вирусы и возникновение атеросклероза*	1	110
Вирусный гепатит В: болезнь, обусловленная иммунитетом. Блюгер А. Ф.	1	20
Восприятие сигналов в состоянии гипноза*	6	113
Врожденная готовность к восприятию речи*	11	106
Высокогорная адаптация снижает влияние стресса*	3	110
Глухота из-за жесткости эритроцитов*	11	106
Гормоны стресса и интеллектуальная нагрузка*	8	114
Грипп: иммунитет и вакцины будущего. Шварцман Я. С., Корчанова Н. Л.	3	3
Дрожжи используются в изучении рака*	2	105
Еще раз о вреде курения...	1	112
Изучение возбудителя проказы*	2	109
Ингаляция инсулина при сахарном диабете*	4	110
Искусственный интеллект и парадоксы психологии. Зинченко В. П.	2	58
Испытания тромболитического препарата*	5	112
Исследуются онкогены*	1	111
Исчезновение иллюзий при утомлении*	10	113
Ишемическая болезнь сердца и чувство ответственности*	11	105
К чему приводит длительное лишение сна? Ковальзон В. М.	4	97
Клетки человеческих надпочечников пересажены в мозг крыс*	10	112
Лекарство могут доставить эритроциты*	12	108
«Метод Бреннера» — уникальная модель для изучения нервной системы*	5	102
Новая группа ретровирусов. Люзнер А. Л., Быковский А. Ф.	4	20
Новые исследования интерферона*	5	112
Новые перспективы лечения бруцеллеза*	1	112
Новый вид вакцин*	10	110
Новый индуктор интерферона*	2	108
Новый метод диагностики сердечных заболеваний*	6	113
Новый способ диагностики рака*	3	110
Обезболивание при стрессе*	12	109
Опиоидные рецепторы регулируют тератогенез*	4	110
Охлаждать или нагревать? Ураков А. Л.	9	121
Пептид страха — антагонист транквилизаторов*. Рылов А. Л.	11	97
Повышение устойчивости животных к гипобарической гипоксии*	4	106
Поиски возбудителя скрэпи*	3	106
Поиски новых препаратов инсулина*	1	111

«Последовательные образы» в мышцах*	4	110
Предупреждение повышенной чувствительности к аллергену*	1	107
Преемственность в развитии сознания. Михайлов Ф. Т.	5	63
Причины паркинсонизма*	7	113
Психофизиология младенцев*. Кочубей Б. И.	12	109
Ранняя диагностика болезни Паркинсона*	10	111
Сердце обезьяны — ребенку*	10	111
Скорость нервного импульса у правой и левой*	10	112
Скорость опознавания цвета мальчиками и девочками*	9	120
Соматотропин вместо соматотропина*	8	113
Статистика и «экономика» курения*	11	107
Физиология обмана*	9	120
Что такое вздрагивание?*	8	114

ЭКОЛОГИЯ. ОХРАНА ПРИРОДЫ

Безвредные дозы сточных удобрений*	10	115
Безвредный репеллент*	1	113
Божомолы. Козлов М. А.	11	44
Боярышник Полярковой. Исиков В. П.	4	88
В защиту мигрирующих видов*	12	112
Возвращение белого гуся? Рябцев И. А.	3	35
Вселить белобрюхого тюленя в крымские воды. Бычков В. А., Вишневская Т. Ю.	8	46
Вывоз азота и фосфора с полей*	11	110
«Глубокое озеро». Коровчинский Н. М.	10	57
Грибки очищают природную среду*	6	114
Качество питьевой воды*	3	116
Качурка контролирует загрязнение моря*	9	121
Колпица в Ставрополье. Хохлов А. Н., Бичерев А. П.	11	94
Косули возвращаются*	7	115
Малоазиатская ящерица исчезает из фауны СССР. Даревский И. С., Даниелян Ф. Д.	6	41
Мусоросжигаемые установки загрязняют среду*	11	110
Народный парк Узбекистана. Алибеков Л. А.	1	41
Носатая гадюка. Божанский А. Т., Кудрявцев С. В.	2	46
Орикс возвратился в пустыню*	10	115
Остановите продвижение пустыни! Харин Н. Г., Бабаева Т. А.	2	48
Пастбища могут превратиться в пустыню*	8	117
Первое в России общество охраны природы. Борейко В. Е.	3	96
Полесский заповедник. Андрюченко Т. А.	6	36
Попытки сохранить белоголового орлана*	5	114
Последние леопарды в Карачаево-Черкессии. Пензинов Ю. А.	3	96
Проблема сохранения однополых «популяций» птиц*	7	116
Свинца в организме древних людей было меньше*	1	113
Серый кит в Охотском море. Берзин А. А., Блохин С. А.	12	86
Снежный баран в Забайкалье может исчезнуть. Сопин Л. В., Ермолин А. Б.	7	78
Сопrotивляемость вредителей возрастает*	2	110
Сорока гнездится на Южном берегу		

Крыма. Аппак Б. А., Чернов А. В.	10	99
Судьба носорогов Суматры*	3	116
Тяжелые металлы в грудном молоке*	2	109
Экологическое значение хрома*	4	113
Яды против грызунов опасны для муравьев и ящериц. Бондаренко Д. А.	10	99

ГЕОЛОГИЯ

Агаты Прииртышья. Ерофеев В. С., Мацуй В. М.	7	37
Баренцево-море-марианский мегапрогиб*	3	113
Бесценный дар природы. Добровольский Г. В.	9	88
Волконскоит. Голубов В. Н.	6	105
«Вулканолог» исследует подводный факел. Авдейко Г. П., Гавриленко Г. М., Черткова Л. В.	7	80
Глубинные корни рудных месторождений. Казанский В. И.	11	30
Древнейшая нефть*	9	121
Земля пережила «метеоритную зиму»*	11	113
Земная кора поднимается*	10	115
Изучается естественное обнажение океанической коры*	4	114
Какой климат типичен для Земли? Чумаков Н. М.	10	34
Колымский фюльгурит. Павлов Г. Ф., Пляшкевич А. А., Савва Н. Е.	12	42
Металлоносные осадки. Базилевская Е. С.	4	34
Метаморфизм, континенты и зоны субдукции. Добрецов Н. Л.	7	40
Минеральные ресурсы подводного хребта Лорд-Хау*	6	119
Никель космического происхождения*	5	117
Океанские экспедиции и тектоника Земли. Пушаровский Ю. М.	12	33
Определяется место падения астероида*	11	112
Осадки в дельте Хуанхэ*	8	119
Первый рейс научно-исследовательского судна. «Академик Николай Стрехов». Золотарев Б. П.	5	114
Первые итоги Европейского геотранверса*	1	113
Подтверждение гипотезы космической катастрофы*. Бадюков Д. Д.	1	114
Признаки скрытых руд на поверхности Земли. Волчанская И. К.	9	108
«Прирастать будет Сибирью». Трофимук А. А., Ерминов В. Д.	9	65
Размещение нефти и газа в океане*	4	115
Редкие металлы и драгоценные камни Гималаев*	10	116
«Редкие события в геологии». Вступительное слово. Меннер В. В.	1	53
Геохимические свидетельства катастрофы. Назаров М. А.	1	53
Вымирание на рубеже мезозоя и кайнозоя. Алексеев А. С.	1	57
Ударные события и развитие биосферы. Масайтис В. Л.	1	60
Новое о природе Тунгусского события. Колесников Е. М.	1	63
Вулканизм как альтернатива космической катастрофы. Мелекесцев И. В.	1	65
101-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»*. Сузюмов А. Е.	3	113
102-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»*	4	115
103-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»*	5	116
104-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»*	8	118

105-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»*	11	111
106-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»*	12	112
Роколла — ключ к геодинамическим проблемам*	6	118
Руды на подводных горах. Богданов Ю. А., Подражанский А. М.	8	49
Сверхдальний дрейф земной коры*	9	122
Сребродольскит — новый минерал*	1	115
Строение океанической коры Норвежского моря*. Клинин К. А.	6	117
Синныриты — новое комплексное сырье. Жидков А. Я.	5	96
«Эффект Батурина» в морской геологии*	2	113

ГЕОФИЗИКА. ГЕОХИМИЯ

Благородные газы Земли. Верховский А. Б.	3	45
Геохимические аномалии на нижней границе палеозоя*. Крылов И. Н.	3	112
Глубочайшая тектоническая структура*	11	114
Землетрясение разогревает ионосферу*	11	113
Земная кора Северного моря*	2	114
Земные токи и землетрясения*	7	116
Извержение вулкана на о. Херд*	1	116
Извержение Невадо-дель-Руиса*	7	117
Изучается Мексиканское землетрясение*	5	118
Когда и как образовались атмосфера и океаны. Герасимов М. В., Мухин Л. М.	8	22
Куда исчез ксенон Земли?*	10	105
Летучие органические соединения в вулканических выбросах*	2	115
Магматический очаг вулкана Сент-Хеленс*	3	115
Новый метод прогноза землетрясений*	11	114
Озеро-убийца в Камеруне*	10	119
Пепел Атлантиды — в Египте*	11	116
Перед сильными землетрясениями — жаркая погода*	11	116
Платина в железомарганцевых конкрециях*. Батурина Г. Н.	12	113
Повышенное содержание ²¹⁰ Pb в вулканических породах*	1	114
Пределы глубинной сейсмической активности*	3	114
Предсказано землетрясение в Паркфилде*	10	118
Радон и вулканические извержения*	11	115
Разлом оказался активным*	1	116
Рождение подводного вулкана*	8	120
Спутниковые измерения поверхности океана*	11	114
Статистический анализ вулканических извержений*	4	116
Структура переходной зоны мантии. Кусков О. Л.	12	20
Тяжелые металлы в эстуариях*	3	112
Южный магнитный полюс изменил свое положение*	6	120

ГЕОГРАФИЯ. КЛИМАТОЛОГИЯ

Антропогенное изменение климата. Будико М. И.	8	14
---	---	----

Берингия в последнюю ледниковую эпоху. Горшков С. П., Сантош А. А. Буй следит за ураганом*	3	55
Воздушные реки. Цигельницкий И. И. Земля и Вселенная (с комментариями геохимика Ю. А. Шуколюкова и астрофизика Я. Б. Зельдовича). Косыгин Ю. А.	11	117
Каменные глетчеры. Горбунов А. П., Титков С. Н.	10	70
«Колумб Российский между льдами». Волков Н. А.	12	79
Линзы пресных вод в пустынях. Попов К. П.	5	73
От «Челюскина» до «Сомова». Каневский З. М.	9	53
Подземные льды. Швецов П. Ф., Втюрин Б. И.	8	101
Полыньи и погода в Беринговом море*	1	72
Пыль Сахары над Англией*	2	36
Сеть автоматических метеостанций в Тихом океане*	6	120
Уровень океана в близком и далеком будущем*	7	119
Цикличность климата в Африке*	5	118
Эрозия берегов Западной Африки*	11	117
	9	122
	10	118

ОКЕАНОЛОГИЯ

Гидротермы в зоне сверхскоростного спрединга*	8	119
Глубинные воды Черного моря. Мамеев О. И.	12	70
Глубоководные исследования в желобе Нанкай*	10	117
История Большого Южного Кольца. Сеидов Д. Г.	3	12
Новое течение в заливе Аляска*	11	115
Новый глубоководный аппарат*	7	117
Океанографические суда оригинальной конструкции*	10	116
Остров появился и исчез*	11	115
Полиметаллические руды в Тихом океане*	2	114
Перемены в гидрохимическом режиме Каспия. Бордовский О. К.	4	16
Цирконий и титан на дне моря*	4	116
Экспедиция по программе «Разрезы»*	3	115

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

Вымершие бесчелюстные и формула Бернулли*	6	116
Динозавры на Аляске*	11	110
Древнейшая бабочка*	2	115
Древнейшее млекопитающее*	3	111
Древнейшие четвероногие Шотландии*. Лебедев О. А.	1	118
Ископаемые черви из гидротерм возрастом 350 млн лет*	1	116
К истории динозавров*	10	114
Летающие ящеры. Бахурина Н. Н.	7	27
Лиственничные леса в раннем голоцене Арктики*. Украинцева В. В.	8	121
Советско-Монгольская палеонтологическая экспедиция. Решетов В. Ю.	2	96
Соль-Илецкий феномен. Очев В. Г.	4	85
Сумчатые обитали в Азии*	1	117

Так кто же это — археоптерикс? Курочкин Е. Н.	4	116
Фауна на границе мезозоя и кайнозоя*	1	117
Цикличность климата в Африке*	9	122
Чем питался австралопитек*	1	118

АРХЕОЛОГИЯ. ЭТНОГРАФИЯ

Возраст наскальной живописи Каповой пещеры*. Щелинский В. Е.	4	117
Геронтология — почитание старших. Першиц А. И., Смирнова Я. С.	5	88
Древнейшие погребения (год открытия — 1886). Смирнов Ю. А.	11	58
Загадки наскальной живописи*. Розин В. М.	10	101
Из Центральной Азии — в степи Нижней Волги. Эрдниева У. Э.	7	98
Изображение слона в искусстве античной Бактрии. Абдуллаев К. А., Аннаев Т. Д.	5	46
Искусство ледникового периода*	7	119
Исчезнувшие народы. Сюнну. Миняев С. С.	4	42
Красители эпохи викингов*	5	119
Население мира на пороге XXI века. Брук С. И.	12	44
Начало заселения человеком территории СССР*. Гладили В. Н.	6	120
Неоседлое население: прошлое, настоящее и будущее. Андрианов Б. В.	3	57
Памятники первобытной аквакультуры. Бродянский Д. Л., Раков В. А.	5	43
Происхождение мордовского народа. Мокшин Н. Ф.	10	95
Процессы этнического развития и этническое прогнозирование. Бромлей Ю. В., Пучков П. И.	2	28
Тайны городища царциатов. Дзаттиа-ты Р. Г.	10	76
Экология и этнические традиции народов Дальнего Востока. Таксами Ч. М., Косарев В. Д.	12	28

РЕЦЕНЗИИ

Астрофизика для всех. (На кн.: И. Новиков. Черные дыры и Вселенная.) Болотовский Б. М.	12	115
В поисках единства физики. (На кн.: В. П. Визгин. Единые теории поля в первой трети XX века.) Юрьев И. К.	5	122
Вспоминания Александра Павловича Виноградова... (На кн.: Л. Маркелова. Познавание мира.) Таусон Л. В.	6	121
Еще один биографический справочник. (На кн.: Г. И. Моляков, В. П. Франчук, В. Г. Куличенко. Геологи. Географы. Биографический справочник.) Нордга И. Г.	3	119
История и анализ антидарвинистических направлений. (На кн.: В. И. Назаров. Финализм в современном эволюционном учении.) Поланский Ю. И.	1	119
Квантовая механика в исторической перспективе. (На кн.: М. Джеммер. Эволюция понятий квантовой механики.) Алексеев И. С.	10	120

- Лик Земли в позднем докембрии и палеозое. (На кн.: А. Б. Ронов, В. Е. Ханин, К. Б. Сеславинский. Атлас литолого-палеогеографических карт мира. Поздний докембрий и палеозой континентов.) **Ясаманов Н. А.** 2 120
- Наука — о переживании. (На кн.: Ф. Е. Васильев. Психология переживания.) **Файвишевский В. А.** 5 120
- Научное творчество и личность. (На кн.: В. А. Маркин. Петр Алексеевич Кропоткин. 1842—1921.) **Баладин Р. К.** 8 122
- Новое об ученом и государственном деятеле XVIII в. (На кн.: Г. К. Церава. Дмитрий Алексеевич Голицын. 1734—1803.) **Перцов Н. В., Газизова О. Р.** 12 114
- Новые оценки последствий ядерной войны для окружающей среды. (На кн.: Environmental consequences of nuclear war.) **Дородницын А. А.** 4 119
- О вкладе А. Пуанкаре в разработку теории относительности и релятивистской механики. (На кн.: А. А. Логунов. К работам Анри Пуанкаре. «О динамике электрона». К 130-летию со дня рождения Анри Пуанкаре.) **Понтрягин Л. С., Тяпкин А. А.** 3 117
- О. Хевисайд: трагедия или победа личности? (На кн.: Б. М. Болотовский. Оливер Хевисайд. 1850—1925.) **Аскарьян Г. А.** 1 121
- Об «аместите», «длинношерстном носороге» и многих других странных вещах. (На кн.: Л. А. Круль, Г. Д. Овсянников. Сокровища тульских недр. (С геологическим молотком по Тульской области.)) **Лебедев О. А.** 11 122
- По границе прошлого с грядущим. (На кн.: А. С. Поваренных, В. И. Оноприенко. Минералогия: прошлое, настоящее, будущее.) **Груза В. В.** 4 120
- Президент самый настоящий. (На кн.: Е. Дашкова. Записки. 1743—1810.) **Церава Г. К.** 9 125
- Природа Казахстана в фотографиях. (На кн.: Жемчужины Казахстана; Ала-тау.) **Губин Б. М.** 8 124
- Происхождение жизни на Земле: современные задачи по изучению проблемы. (На кн.: Search for the Universal Ancestors.) **Заварзин Г. А.** 6 123
- Разнообразие форм жизни на Земле: эволюционные и экологические аспекты. (Жизнь на Земле. История эволю-

- ции в изложении Дэвида Эттенборо. 13-серийный телевизионный фильм.) **Воронцов Н. Н.** 11 118
- Физик о своей науке. (На кн.: В. Л. Гинзбург. О физике и астрофизике. Статьи и выступления.) **Киржниц Д. А.** 7 120
- Физика и философия. (На кн.: Теория познания и современная физика.) **Кобзарев И. Ю.** 2 116
- Эволюция живой природы и состав атмосферы. (На кн.: М. И. Будыко, А. Б. Ронов, А. Л. Яншин. История атмосферы.) **Заварзин Г. А.** 7 122

НОВЫЕ КНИГИ

- 1 123; 2 122; 3 122; 4 123; 5 103**; 124; 6 126; 7 124; 8 125; 9 127; 10 122; 11 124; 12 117

НЕКРОЛОГ

- Дмитрий Константинович Беляев 1 92

В КОНЦЕ НОМЕРА

- Гуси-лебеди в «Слове о полку Игореве». **Кайдаш С. Н.** 2 125
- Игровое поведение и творческое мышление. **Гулыга А. В.** 4 125
- История одного ленивца. **Рылов А. Л., Хвесин А. Л., Ремнев В. Н.** 6 127
- История экзаменационной машины «СОТИЗ». **Иорис Ю. И.** 8 127
- Маховик и... антигравитация? **Гулина Н. В.** 7 126
- На Луну 348 лет назад! **Шингарева К. Б.** 10 126
- О рудоискательных вилках. **Ломоносов М. В.** 9 128
- Продолжаем разговор о футболе: неслучайные случайности на чемпионате мира в Мексике. **Раутиан С. Г.** 11 126
- Распределение Пуассона и футбол. **Раутиан С. Г.** 1 126
- Счастливые числа. **Фейнман Р.** 5 126
- Чудо, которое всегда с нами. **Ахундов М. Д.** 3 125

Авторский указатель журнала «Природа» 1986 года

А бдуллаев К. А.	5	46	Борейко В. Е.	3	96	Голубов В. Н.	6	105
Авдейко Г. П.	7	80	Борин А. А.	6	68	Голубовский М. Д.	3	23
Алексеев А. С.	1	57	Бродянский Д. Л.	5	43	Горбунов А. П.	5	73
Алексеев И. С.	10	120	Бромлей Ю. В.	2	28	Горшков С. П.	3	55
Алибеков Л. А.	1	41	Брук С. И.	12	44	Груза В. В.	4	120
Андрианов Б. В.	3	57	Будыков М. И.	8	14	Губин Б. М.	8	124
Андрюченко Т. Л.	6	36	Булаевский Л. Н.	5	50	Гулина Н. В.	7	126
Аннаев Т. Д. (см. Аб- дуллаев К. А.)			Бурба Г. А.	12	62	Гулыга А. В.	4	125
Антонов А. С.	7	68	Буруковский Р. Н.	12	93	Гуревич Ю. Г.	3	66
Аппак Б. А.	10	99	Быковский А. Ф. (см. Лиознер А. Л.)					
Аскерьян Г. А.	1	121	Бычков В. А.	8	46			
Астахова О. О.	4	61						
Ахундов М. Д.	3	125						
			В арфоломеев С. Д.			Д аниелян Ф. Д. (см. Да- ревский И. С.)		
			Вахрушева Т. Е. (см. Корова О. Н.)			Данилов М. В.	5	30
			Верховский А. Б.	3	45	Даревский И. С.	6	41
Б абаева Т. А. (см. Ха- рин Н. Г.)			Вишневская Т. Ю. (см. Бычков В. А.)	12	114	Дзаттиаты Р. Г.	10	76
Бадюков Д. Д.	1	114	Волков В. П. (см. Бар- суков В. Л.)	9	73	Добрецов Н. Л.	7	40
Базилевская Е. С.	4	34	Волков Н. А.	9	53	Добровольский Г. В.	9	88
Базилевский А. Т. (см. Барсуков В. Л.)			Волчанская И. К.	9	108	Добровольский О. В. (см. Максумов М. Н.)		
Баландин Р. К.	8	122	Воронцов Н. Н.	3	94	Догель В. А.	6	107
Балебанов В. М.	5	3	Втюрин Б. И. (см. Шее- цов П. Ф.)	11	118	Долгополов В. Т.	1	94
Балтер Б. М.	8	33				Дородницын А. А.	4	119
Барсуков В. Л.	6	24						
	9	73						
Басс Ф. Г.	5	78				Е горов В. В. (см. Бал- тер Б. М.)		
Батищев Г. С.	6	50				Ермиков В. Д. (см. Тро- фимук А. А.)		
Батурин Г. Н.	12	113	Г авриленко Г. М. (см. Авдейко Г. П.)	7	80	Ермолин А. Б. (см. Со- пин Л. В.)		
Бахурина Н. Н.	7	27	Авдейко Г. П.)	7	80	Ерофеев В. С.	7	37
Берзин А. А.	12	86	Гаврюшин Н. К.	9	82	Еськов Е. К.	6	126
Бичерев А. А. (см. Хох- лов А. Н.)	11	94	Газизова О. Р. (см. Пер- цов Н. В.)	12	114	Ефремов Ю. Н.	9	115
Блиох П. В.	4	3	Гайденок П. П.	11	84			
Блохин С. А. (см. Бер- зин А. А.)			Гегузин Я. Е.	12	11			
Блюгер А. Ф.	1	20	Герасимов М. В.	8	22	Ж арков В. Н.	9	114
Богданов Ю. А.	8	49	Гинзбург В. Л.	10	80	Жданов Г. Б.	8	70
Божанский А. Т.	2	46	Гинзбург В. М.	6	14	Жданов Ю. А.	9	4
Болотовский Б. М.	12	115	Гладилин В. Н.	6	120	Жидков А. Я.	5	94
Бондаренко Д. А.	10	99						
Бордовский О. К.	4	16						

Заварзин Г. А.	2	71	Лобков Е. Г.	8	116	Остроумов С. А. (см. Яб- локов А. В.)	4	85
	6	123	Логунов А. А.	9	16			
Зарилов Р. Х.	7	122	Ломоносов М. В.	9	128	Очев В. Г.		
Зеленый Л. М.	8	59						
	10	103						
Зельдович Я. Б.	12	97						
	12	85						
Зинченко В. П.	2	58						
Золотарев Б. П.	5	114						
			Мазин И. И.	2	103			
			Максименков В. М. (см. Жданов Г. Б.)			Павлов Г. Ф.	12	42
Иориш Ю. И.	8	127	Максудов Г. Ю.	4	111	Пензиков Ю. А.	3	96
Исиков В. П.	4	88	Максумов М. Н.	5	106	Перцов Н. В.	12	114
			Малева С. В.	10	46	Перчук В. Л.	1	29
			Маленьков А. Г.	6	76	Першиц А. И.	5	88
			Малиновский А. А.	8	81	Пильник Г. П.	11	20
			Мамеев О. И.	12	70	Пляшкевич А. А. (см. Павлов Г. Ф.)		
			Марочник Л. С. (см. Кардашев Н. С.)			Подраженский А. М. (см. Богданов Ю. А.)		
Кеганов М. И. (см. Фикс В. Б.)			Масайтис В. Л.	1	60	Полнерев А. Г.	6	108
Казанский В. И.	11	30	Масалов А. В.	5	108	Полянский Ю. И.	1	119
Кайдаш С. Н.	2	125	Мацуй В. М. (см. Еро- феев В. С.)			Пономаренко В. В.	3	92
Калмыков А. И. (см. Басс Ф. Г.)			Мейен С. В.	11	47	Понтягин Л. С.	3	117
Каневский Э. М.	1	72	Мелекесцев И. В.	1	65	Полов К. П.	8	101
Канторович Л. В.	7	3	Меннер В. В.	1	53	Преображенский С. Н.	1	98
Кардашев Н. С.	6	84	Миллюков В. К.	6	96	Пригожин И.	2	86
Карцев В. М.	9	119	Огнетов Г. Н. (см. Минибаева О. Н.)			Пучков П. И. (см. Бром- лей Ю. В.)		
	11	108	Миняев С. С.	4	42	Пушаровский Д. Ю.	1	105
Кафанов А. И.	5	34	Мирошников М. М.	9	26	Пушаровский Ю. М.	12	33
Кипятков В. Е.	3	111	Михайлов Ф. Т.	5	63			
	7	114	Мокшин Н. Ф.	10	95			
Киржниц Д. А.	7	120	Мороз В. И. (см. Бале- банов В. М.)					
Кирсанов В. В.	11	69	Мухин Л. М. (см. Гера- симов М. В.)					
Киселев Л. Л.	12	88				Раков В. А. (см. Бро- дянский Д. Л.)		
Клитин К. А.	6	117				Раутиан С. Г.	1	126
Кобзарев И. Ю.	2	116					11	126
Кобринский Г. Д.	5	112				Раушенбах Б. В.	2	8
Ковалев И. Е. (см. Ма- ленков А. Г.)							3	76
Ковальзон В. М.	4	97	Назаров М. А.	1	53		11	3
Козлов М. А.	11	44	Наумов Г. И.	6	114	Разанов А. Г.	6	44
Колесников Е. М.	1	63	Незлин М. В.	10	23	Ремнев В. Н. (см. Ры- лов А. Л.)		
Коровина О. Н.	11	95	Незлин Р. С.	11	75	Решетов В. Ю.	2	96
Коровичинский Н. М.	10	57	Нерсесов И. Л. (см. Жар- ков В. Н.)			Розин В. М.	10	101
Корчанова Н. Л. (см. Шварцман Я. С.)			Несис К. Н.	2	111	Романенко Е. В.	11	28
Косарев В. Д. (см. Так- сами Ч. М.)				3	95	Ротенберг В. С.	1	86
Косыгин Ю. А.	12	79		4	112	Руденко О. В.	7	16
Кочубей Б. И.	12	109		5	113	Рылов А. Л.	6	127
Крылов И. Н.	3	112		11	109		11	97
Кудряцев С. В. (см. Божанский А. Т.)			Нестеренко В. В.	11	12	Рябцев И. А.	3	35
Кулик Л. В.	10	98	Никитин С. А.	1	101			
Кульберг А. Я.	6	60		2	98			
Курик М. В.	12	55		3	99			
Курочкин Е. Н.	2	111		6	106	Савва Н. Е. (см. Пав- лов Г. Ф.)		
	4	116		8	107	Свердлов Е. Д.	10	3
Кусков О. Л.	12	20		10	102	Свиточ А. А. (см. Горш- ков С. П.)		
				11	99	Семидов Д. Г.	3	12
			Николаевко А. П. (см. Блиох П. В.)			Симонов В. И. (см. Ти- щенко Г. Н.)		
			Никольский С. А.	4	90	Синицын А. П.	6	3
			Новиков И. Д.	7	59	Сиренко Б. И. (см. Буру- ковский Р. Н.)		
			Нордега И. Г.	3	119	Славинский С. А. (см. Жданов Г. Б.)		
						Смирнов Ю. А.	11	58
Лаврентович О. Д. (см. Курик М. В.)						Смирнова Я. С. (см. Пер- шиц А. И.)		
Лазуркин Ю. С.	2	16	Овчинников Н. Ф.	9	99	Соколов А. А.	7	101
Ландсберг Л. Г.	4	72	Огнетов Г. Н.	1	67	Соколов В. Е.	10	57
Лебедев О. А.	1	118	Окороков А. И. (см. Ма- леев С. В.)					
	11	122						
Лизнер А. Л.	4	20						

Сопин Л. В.	7	78	Филиппенко В. Н.	4	113	Шаевцев П. Ф.	2	36
Стенгерс И. (см. Пригожин И.)			Фролов И. Т.	1	3	Шестопапов В. П. (см. Басс Ф. Г.)		
Суворов А. А.	2	110				Шингарева К. Б.	10	126
Сузюмов А. Е.	3	113				Шрейдер Ю. А.	10	14
Сурдин В. Г.	4	107				Шуколюков Ю. А.	12	83
			Харазова А. Д. (см. Хрущов Н. Г.)			Шульц М. М.	9	41
Таксами Ч. М.	12	28	Харин Н. Г.	2	48			
Таусон Л. В.	6	121	Хвесин А. Л. (см. Рылов А. Л.)					
Тверской Б. А.	1	11	Хлопин И. Н.	11	40	Щаголев И. Ф. (см. Булаевский Л. Н.)		
Тимошин А. А. (см. Кулик Л. В.)			Хлопов М. Ю.	9	116	Щелинский В. Е.	4	117
Тимченко Л. И.	11	93	Хохлов А. Н.	10	114			
Титков С. Н. (см. Горбунов А. П.)			Хрущов Н. Г.	11	94			
Тищенко Г. Н.	1	96		4	54			
Токовинин А. А.	3	39						
Трофимук А. А.	9	65	Цверева Г. К.	7	52	Эрднеев У. Э.	7	98
Трушин Ю. В. (см. Кирсанов В. В.)								
Тяпкин А. А. (см. Понтыгин Л. С.)			Цигельницкий И. И.	9	125			
				10	70	Юрьев И. К.	5	122
Украинцева В. В.	8	121	Чернов А. В. (см. Аппак Б. А.)					
Ураков А. Л.	9	121	Черняк В. С.	3	83	Яблоков А. В.	7	124
Файвишевский В. А.	5	120	Черткова Л. В. (см. Авдейко Г. П.)			Ясаманов Н. А.	2	120
Фейгельман М. В. (см. Мазин И. И.)			Чумаков Н. М.	10	34			
Фейнман Р.	5	126						
Феокистов Л. П.	9	123	Шамин А. Н.	12	4			
Фет Я. И. (см. Канторович Л. В.)			Шандарин С. Ф.	3	101			
Фикс В. Б.	7	88	Шварцман Я. С.	3	3			

В номере использованы фотографии БЕРЗИНА А. А., БЛОХИНА С. А., ЖДАНОВА А. Д., КРОХМАЛЯ В. М., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., ЛАВРЕНТОВИЧА О. Д., рисунок И. В. ГОЛУБЕНКО

Художники:
П. Г. АБЕЛИН, С. И. МИРОНЕНКО

Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
О. Н. БОГАЧЕВА, Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 10.10.86.
Подписано к печати 20.11.86.
Т-19165.
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1265,3 тыс.
Уч.-изд. л. 15,3
Бум. л. 4
Тираж 51 000 экз. Зак. 2887

Ордена Трудового Красного
Знамени Чеховский
полиграфический комбинат ВО
«Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР
по делам издательства, полиграфии
и книжной торговли.
142300 г. Чехов Московской области



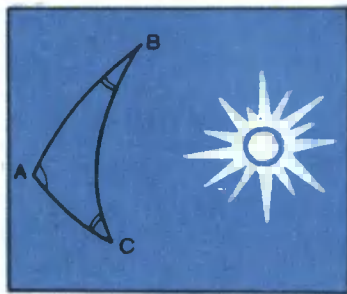
— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



В следующем номере

Современная экология вместе с другими естественными науками должна обеспечить управление живыми силами природы и окружающей средой. Здесь еще много нерешенных проблем, исследованием которых занимаются специалисты всего мира.

Соколов В. Е., Пузаченко Ю. Г. Проблемы современной экологии



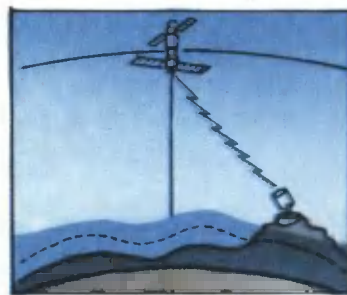
На основе представления о гравитационном поле как о физическом поле, обладающем энергией-импульсом, развита новая теория тяготения. Она объясняет все известные гравитационные эффекты в Солнечной системе и дает новые предсказания относительно развития фридмановской вселенной и гравитационного коллапса.

Логунов А. А. Релятивистская теория гравитации



Вагнер любил говорить, что наука — наилучший удел человека, ибо только в ней истина неизменно вступает в борьбу за существование и всегда в конечном счете выходит победительницей. Естествознание он называл наукой жизни, поскольку предметы его исследования связаны с основными интересами человечества.

Лукин Б. В. Первый редактор «Природы»
В. А. Вагнер



Всего четверть века назад геология выглядела чрезвычайно консервативной наукой. Сегодня она быстро развивается, превращаясь в подлинно глобальную науку, изучающую всю нашу Землю на протяжении всей ее истории, насчитывающей четыре с половиной миллиарда лет.

Ханин В. Е. Вторая молодость древней науки



Сегодня одна из важнейших задач прикладной микробиологии — создание энергетически выгодных установок, с помощью которых, возможно, удастся решить не только проблемы малой энергетики, но и вопросы, связанные с чистотой окружающей среды.

Заварзин Г. А. Биогаз и малая энергетика

Цена 80 к.
Индекс 70707

